



SVERIGES
LANTBRUKSUNIVERSITET

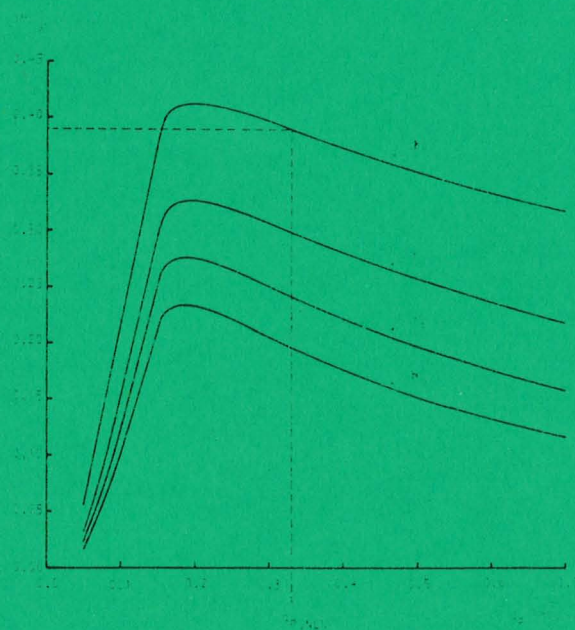
SVERIGES LANTBRUKSUNIVERSITET
Institutionen för markvetenskap
Avd för hydroteknik
750 07 UPPSALA 7

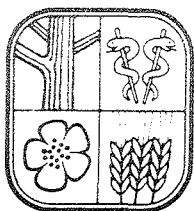
BIBLIOTEKET

HÖJNING AV NIVÅERNA VID LÅGVATTENFÖRING I FORSMARKSÅNS VATTENSYSTEM UPPSTRÖMS LÖVSTABRUK

4. Vattenstånden i den centrala sjökedjan

Anders Bjerketorp





SVERIGES
LANTBRUKSUNIVERSITET

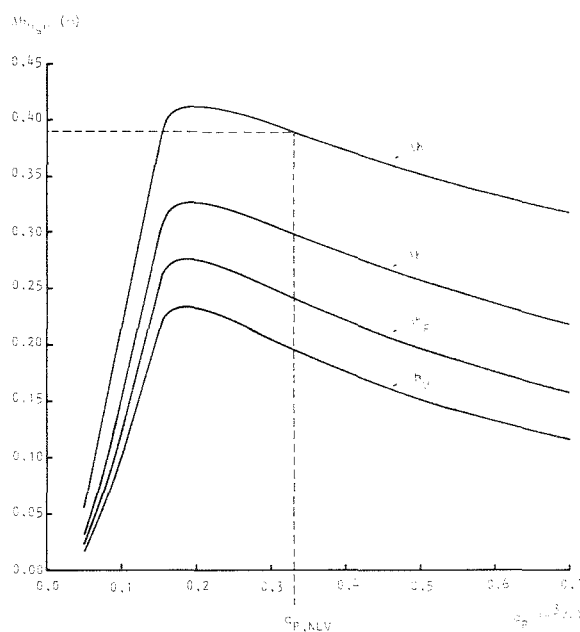
HÖJNING AV NIVÅERNA VID LÅGVATTENFÖRING I FORMARKSÅNS VATTENSYSTEM UPPSTRÖMS LÖVSTABRUK

4. Vattenstånden i den centrala sjökedjan

Anders Bjerketorp

SVERIGES LANTBRUKSUNIVERSITET
Institutionen för markvetenskap
Avd för hydroteknik
750 07 UPPSALA 7

BIBLIOTEKET



I N N E H Å L L S F Ö R T E C K N I N G

	sid.
1. INLEDNING	1
2. GRUNDMATERIAL	2
2.1. Empiriska vattenståndsvärden	2
2.2. Teoretiskt framtagna sjönivåvärden	3
2.3. Vattenföringssamband för nuvarande förhållanden	4
3. REVIDERING OCH KOMPLETTERING AV TIDIGARE PUBLICERAD TABELL	4
4. EKVATION FÖR BERÄKNING AV KORRESPONDERANDE VATTENSTÅND I SJÖARNA	6
4.1. Principekvation	6
4.2. Konstanter, koefficienter och exponenter till bruksekvationerna	7
4.3. Bruksekvationernas giltighetsområden	7
4.4. Kommentarer till q_p -zonernas avgränsningar m.m.	8
4.5. Skattningsvärdenas noggrannhet	10
4.6. De använda sjönivåekvationernas lämplighet	10
5. VATTENFÖRING EFTER REGLERING ENLIGT D22:39:R2-ALTERNATIVEN	11
6. VATTENSTÅNDSHÖJNINGAR VID OLIKA VATTENFÖRING GENOM D22:39:R2-VÄRNEN	14
7. LITTERATURFÖRTECKNING	15
8. BILAGA 1; TABELLER	17
9. BILAGA 2; KURVFIGURER	29
10. SAMMANFATTNING	39

=====

VATTENSTÅNDEN I ÖVRE FORSMARKSÅNS CENTRALA SJÖKEDJA FÖRE
OCH EFTER REGLERINGSINGREPP VID PIERRESLUTAN, LÖVSTABRUK

=====

Av Anders Bjerketorp

1. INLEDNING

I en serie tidigare arbeten (BJERKETORP 1974b; 1974c; 1975) ingår vissa avsnitt som i någon mån belyser frågan om vilka bestämda inverkningar på vattenstånden i övre Forsmarksåns centrala kedja av sjöar olika föreslagna vattenföringsreglerande konstruktioner (värn) vid Pierreslutan skulle komma att få. Ifrågavarande konstruktioner är avsedda att vid små eller måttligt stora vattenföringar höja vattennivåerna i sjösystemet i förhållande till dem som skulle ha realiserats om inga regleringskonstruktioner insatts, d.v.s. om genomströmningssektionen förblivit oförändrad.

De för denna vattenståndsproblematisering relevanta delarna av nämnda skrifter ger emellertid inga generella upplysningar om vattenstånden i sjöarna som konsekvens av vilken aktuell vattenföring respektive uppdämning (eller eventuellt sänkning) som råder vid Pierreslutan, utan rapporterna uppehåller sig i sammanhanget väsentligen endast vid två speciella problemkomplex, nämligen dels vid de för medellägstvattenföringen ("normala lågvattenföringen", q_{NLV}) gällande förhållandena och dels vid vilka vattennivåer (vattenföringar) vid Pierreslutan de olika föreslagna konstruktionerna resulterar i att dämmningsverkan upphör och över vilka nivåer (vattenföringar) en viss sänkning i stället förutsättes inträda. Behovet av en mera generell utredning av sambanden mellan vattenföring och dämning/sänkning vid Pierreslutan och resulterande vattenstånd i sjökedjan har med tiden framstått allt tydligare. Deciderade önskemål om ett sådant klarläggande har också framförts från Länsstyrelsen i Uppsala län.

Ifrågavarande funktionella samband har nu närmare penetrerats. En relativt kortfattad redogörelse skall här lämnas för tre framtagna ekvationer (se avd. 4), i vilka vattenstånden i var och en av sjöarna Ensjön, Finnsjön och Vikasjön i sjökedjan uppströms Pierreslutan tecknas såsom funktioner av 1) vattenföring, q_p (eller Q), och 2) dämning eller sänkning, Δh_p (eller DH), av vattenståndet vid Pierreslutan. Med dämning och sänkning avses nivåförändring uppåt resp. nedåt i förhållande till för varje givet q_p -värde (q_u -värde) nu rådande, "naturliga", vattenstånd.

2. GRUNDMATERIAL

Bakom de tre ekvationerna ligger ett ganska omfattande grundmaterial, vilket består för det första av ett betydande antal empiriska uppgifter om vattenstånden i uppströmssjöarna Ensjön, Finnsjön och Vikasjön vid olika vattenföringar (och vattenstånd) vid Pierreslutan vid nu rådande sektionskonfiguration, och för det andra av en avsevärd mängd härledda sjönivåvärden, vilka framtagits teoretiskt genom beräkning av en skara dämings- och sänkningskurvor från Pierreslutan och uppåt.

Vattenföringsvärden för Forsmarksån vid Pierreslutan har beräknats med hjälp av tre ekvationer (se avd. 2.3), vilka i lika många definitionsintervall ger den "naturliga" (ursprungliga; oreglerade) vattenföringen därstädes såsom funktioner av det "naturliga" (opåverkade; oreglerade) vattenståndet. Ifrågavarande tre ekvationer sammantaget representeras grafiskt av en vattenföringskurva, som utgör en lätt revision av den provisoriska vattenföringskurva vilken kom till användning i BJERKETORP (1974b; 1974c; 1975). Den nya kurvan skiljer sig mycket litet från den tidigare använda; så är t.ex. de båda kurvorna praktiskt taget identiska vid de viktiga nivåerna 26,73, 27,21 och 27,38 mNN(1900;BERG). För säkerhets skull har emellertid ändå fyra kurvfigurer återgivna i BJERKETORP (1974b) och fyra kurvfigurer publicerade i BJERKETORP (1975) omri-tats med den nya kurvan inlagd. Samtidigt har tillfället tagits i akt att göra ytterligare några smärre ändringar och kompletteringar i figurerna. De reviderade figurerna återfinnes i Bilaga 2. Figurerna K5 och K7 i nämnda bilaga visar en betydande skillnad mellan den gamla och den nya vattenföringskurvans förlopp i intervallet $0,00 \leq q_u \leq 0,15 \text{ m}^3/\text{s}$. Den-na avvikelse är emellertid i första hand betingad av att den ursprungli-ga vattenföringskurvan just i dessa två fall råkat bli felddragen i BJERKETORP (1975), där de aktuella figurerna återfinnes på s. 43 och s. 46.

2.1. Empiriska vattenståndsvärden

De empiriskt uppmätta vattenståndsvärdena är hämtade från observationer dels i Ensjön och Vikasjön, dels i Forsmarksån vid Pierreslutan och Nybroån (specialnamn på Forsmarksåns delsträcka mellan Finnsjön och Lissvass) strax nedströms Finnsjöns utlopp. Värdena från Nybroån har genom ett mindre tillägg överförs till att gälla en serie antagna vattenstånd i Finnsjön. Tilläggets storlek har varierats från 10 % av vattenståndsskillnaden mellan pegeln i Nybroån och pegeln vid Pierreslutan vid liten vattenföring ($<0,300 \text{ m}^3/\text{s}$), till 5 % av samma nivåskillnad vid mycket stora vattenföringar.

Det använda materialet från Nybron (Kastuddebron) i Nybroån emanerar i sin helhet från egna mätningar, utförda från 1967 och framåt (vissa avbrott i mätserien förekommer!), vilka tidvis utförts manuellt, tidvis skett med registrerande pegel (vanligast!).

Vattenståndsuppgifterna från Pierreslutan härrör beträffande åren 1965-1981 från egna mätningar, hela tiden utförda med registrerande pegel. Denna mätserie har utökats med data från andra håll. För tiden 1956-1961 har kompletterande uppgifter tagits från INGMAR (1973), och mätdata från de båda åren 1961 och 1962 har hämtats från ett material som insamlats av dåvarande Institutionen för agronomisk hydroteknik vid Lantbrukshögskolan (numera Avdelningen för lantbrukets hydroteknik vid Sveriges Lantbruksuniversitet, Uppsala).

De empiriska uppgifterna om vattenstånd i Vikasjön härstammar endast delvis från egna mätningar. Komplettering har i betydande omfattning skett med data från INGMAR (1973) eller från kopior av originaluppgifter insamlade på fil.mag. Tord Ingmars initiativ, material som Ingmar välvilligt ställt till förfogande. Uppgifterna avseende Ensjön bygger endast i ringa omfattning på eget mätmaterial, utan härrör till övervägande del från INGMAR (1973) och från nämnda kopior av Tord Ingmars ursprungsmaterial.

2.2. Teoretiskt framtagna sjönivåvärden

Vid beräkning av dämningskurvorna har, liksom i BJERKETORP (1974b), använts ett förfaringssätt som skulle kunna kallas Rothmund-Felkels metod med s.k. enhetsdämningsvidder (ROTHMUND 1949; FELKEL 1958). Tillvägagångssättet är härlett från BAKHEMETEFF (1932). Jfr CHOW (1955), ADVANI (1959) och LELIAVSKY (1965). Metoden medför stor flexibilitet och ger t.ex. såsom specialfall dämningskurvor av såväl Bresse- som Tolkmitt-typ, sedan gammalt mycket välkända och använda. Egna mycket utförliga tabeller (BJERKETORP 1974a) över för beräkningarnas genomförande nödvändiga integralvärden har utnyttjats. Tabellernas utförlighet har haft väsentlig betydelse för beräkningarnas noggrannhet.

Sänkningskurvorna har kalkylerats enligt BAKHEMETEFF (1932) och KLAMETH (1958). Grafiska metoder har kommit till användning för uppnående av tillfredsställande noggrannhet vid bestämning av de integralvärden som även i detta sammanhang ingår i beräkningsuttrycken (jfr LELIAVSKY, 1965).

2.3. Vattenföringssamband för nuvarande förhållanden

Vid nuvarande ("naturliga") förhållanden kan vattenföringen vid Pierreslutan bestämmas med hjälp av följande tre ekvationer (jfr s. 2):

$$q_p = q_{u,1} = 1,370 \cdot (H_{p,u} - 26,42)^{1,33} \quad 26,50 \leq H_{p,u} \leq 26,61 \quad (I)$$

$$q_p = q_{u,2} = 2,375 \cdot (H_{p,u} - 26,38)^{1,88} \quad 26,61 < H_{p,u} \leq 26,73 \quad (II)$$

$$q_p = q_{u,3} = 2,570 \cdot (H_{p,u} - 26,34)^{2,18} \quad H_{p,u} > 26,73 \quad (III)$$

där

q_p : Allmän symbol för vattenföringen vid Pierreslutan

$q_{u,i}$: "Naturlig" vattenföring i m^3/s i tre olika intervall ($i=1$, $i=2$ eller $i=3$)

$H_{p,u}$: Vattenståndet i mNN(1900;BERG) vid Pierreslutan vid nu rådande förhållanden

3. REVIDERING OCH KOMPLETTERING AV TIDIGARE PUBLICERAD TABELL

Till följd av vissa smärre justeringar av de förutsättningar som var gällande vid en tidigare beräkning (BJERKETORP, 1974b) av resulterande vattenstånd i den aktuella sjökedjan efter uppdämning vid Pierreslutan, innehåller det nya underlagsmaterialet (enligt avd. 2.2) inte exakt samma nivåvärden vid vattenföringen $0,330 m^3/s$ (medellägstvattenföring eller "normal lågvattenföring", q_{NLV}) vid Pierreslutan, som dem vilka redovisas i tabell 3 på s. 6 i BJERKETORP (1974b). Ifrågavarande nya värden förtecknas i tabell 1 på omstående sida. Förändringarna är dock ganska små - för Ensjöns del närmast negligerbara.

Det må påpekas att vattennivåerna under nu rådande förhållanden (d.v.s. när uppdämningen är 0,00 m) vid q_{NLV} är 26,73 vid Pierreslutan, 26,85 i Ensjön, 26,93 i Finnsjön och 27,00 i Vikasjön. Alla höjder anges i mNN (1900;BERG), d.v.s. i höjd i meter över Rikets normalnollplan, epok 1900 och med fixpunktshöjder enligt BERG (1945). Det höjdsystem till vilket sortangivelsen mNN(1900;BERG) refererar, avviker i vissa fall något litet från det allmänna höjdsystemet (LANTMÄTERIVERKETS!) med sortangivelsen mNN(1900). Skillnaderna betingas av smärre avvikelser i fixpunkts-höjdsangivelserna. mNN(1900;BERG) sammanfaller helt med mNN(1900) för Finnsjöns del och mycket nära för Ensjöns (kontrollavvägning utförd 1976 av förf.) och Vikasjöns del, medan ett par cm skiljer de båda höjdsystemen åt vid Pierreslutan (jfr BJERKETORP 1974b, s. 7). De olika höjdbelopp som i tab. 1 hänförs till Pierreslutan, ansluter sig till skilda dämningalternativ, diskuterade i BJERKETORP (1974b, 1974c och 1975).

Tabell 1:

Korresponderande höjningar av vattenstånden i sjökedjan vid q_{NLV} efter olika uppdämningar (0,20-0,39 m) vid Pierreslutan.
Revision av tab. 3 på s. 6 i BJERKETORP (1974b).

Pierreslutan	Ensjön	Finnsjön	Vikasjön
0,20	0,13-0,14	0,10	0,07-0,08
0,21	0,14	0,10-0,11	0,08
0,22	0,15	0,11	0,08-0,09
0,23	0,16	0,12	0,09
0,24	0,17	0,12-0,13	0,09-0,10
0,25	0,17-0,18	0,13	0,10
0,26	0,18-0,19	0,14	0,11
0,27	0,19	0,15	0,11-0,12
0,28	0,20	0,15-0,16	0,12
0,29	0,21	0,16	0,13
0,30	0,22	0,17	0,13-0,14
0,31	0,23	0,18	0,14
0,39	0,30	0,24	0,20

Såsom ett komplement till ovanstående tabell 1, liksom till tab. 3 på s. 6 i BJERKETORP (1974b), anföres i tabell 2 nedan ytterligare några uppgifter om uppdämningsresultater, korresponderande vattenstånd i sjökedjan vid q_{NLV} , d.v.s. vid medellägstvattenföring.

Tabell 2:

Korresponderande höjningar av vattenstånden i sjökedjan vid q_{NLV} efter olika uppdämningar (0,32-0,43 m) vid Pierreslutan.
Komplement till tab. 3 på s. 6 i BJERKETORP (1974b).

Pierreslutan	Ensjön	Finnsjön	Vikasjön
0,32	0,24	0,18-0,19	0,15
0,33	0,24-0,25	0,19	0,15-0,16
0,34	0,25	0,20	0,16
0,35	0,26	0,21	0,17
0,36	0,27	0,22	0,17-0,18
0,37	0,28	0,22-0,23	0,18
0,38	0,29	0,23	0,19
0,40	0,31	0,25	0,20-0,21
0,41	0,32	0,26	0,21
0,42	0,33	0,27	0,22
0,43	0,33-0,34	0,27-0,28	0,23

4. EKVATIONER FÖR BERÄKNING AV KORRESPONDERANDE VATTENSTÅND I SJÖARNA

De redan i avd. 1 nämnda tre ekvationerna för beräkning av vattenståndet i Ensjön, Finnsjön och Vikasjön såsom funktioner av dämning (eller sänkning) och vattenföring vid Pierreslutan har framtagits genom minstakvadratanpassning av ett utjämningspolynom till de primärdata för vilka redogjorts i avd. 2. Denna metod går under skilda benämningar, bland vilka en mycket använd är trendyteanalys, ett namn som emellertid i princip är knutet till metodens applicering på variabelvärdesfördelningar över en yta, t.ex. inom geografi, geologi, meteorologi och hydrologi (CHORLEY & HAGGETT, 1965; KRUMBEIN & GRAYBILL, 1965; UNWIN, 1969; OMORINBOLA, 1981). Liknande metoder har i Sverige tillämpats av t.ex. DAHLSTRÖM (1970) och i Tyskland av bl.a. THOMAS & STRESSMANN (1972). En ekvation av allmänt sett samma typ som den här aktuella, ehuru av betydligt lägre gradtal och utan variabeltransformering, har i samarbete med förf. framgångsrikt utnyttjats vid Avdelningen för vattenvård vid Sveriges Lantbruksuniversitet för att angiva vattenföringen enligt en s.k. tvåskalemetod (ULÉN & BRINK, 1980. Jfr BJERKETORP, 1973). KVARNÄS (1978) har för samma ändamål som ULÉN & BRINK (1980) begagnat sig av en mycket närbesläktad metod.

4.1. Principekvation

De nämnda tre vattenståndsekvationerna är alla av samma allmänna typ. Endast de numeriska värdena på konstant, koefficienter och transformeringsexponent skiljer dem åt. Den principiella formeln är (primärt) av sjätte graden och har följande utseende:

$$\begin{aligned} H_s = & b_{1,s} + b_{2,s}x_1 + b_{3,s}x_2 + b_{4,s}x_1^2 + b_{5,s}x_1x_2 + b_{6,s}x_2^2 + \\ & + b_{7,s}x_1^3 + b_{8,s}x_1^2x_2 + b_{9,s}x_1x_2^2 + b_{10,s}x_2^3 + \\ & + b_{11,s}x_1^4 + b_{12,s}x_1^3x_2 + b_{13,s}x_1^2x_2^2 + b_{14,s}x_1x_2^3 + b_{15,s}x_2^4 + \\ & + b_{16,s}x_1^5 + b_{17,s}x_1^4x_2 + b_{18,s}x_1^3x_2^2 + \\ & + b_{19,s}x_1^2x_2^3 + b_{20,s}x_1x_2^4 + b_{21,s}x_2^5 + \\ & + b_{22,s}x_1^6 + b_{23,s}x_1^5x_2 + b_{24,s}x_1^4x_2^2 + b_{25,s}x_1^3x_2^3 + \\ & + b_{26,s}x_1^2x_2^4 + b_{27,s}x_1x_2^5 + b_{28,s}x_2^6 \end{aligned} \quad (IVa)$$

$$x_2 = (x_2^1)^{b_{29,s}} \quad (IVb)$$

Beteckningarna i formlerna på föregående sida har nedanstående innebörd:

- H_s : Vattenstånd i aktuell sjö (sjö "s") i mNN(1900;BERG)
- x_1 : Dämning ($x_1 > 0$) eller sänkning ($x_1 < 0$), Δh_p (eller DH), i m av det "naturliga" vattenståndet vid Pierreslutan. $x_1 = 0$ motsvarar nu rådande ("naturliga") förhållanden
- x_2^1 : Vattenföring, q_p (eller Q), i m^3/s vid Pierreslutan
- x_2 : Transformerat x_2^1 -värde enligt ekvation (IVb)
- $b_{1,s}$: Numerisk konstant för aktuell sjöekvation (sjö "s")
- $b_{2,s} \dots b_{28,s}$: Numeriska koefficienter för aktuell sjöekvation (sjö "s")
- $b_{29,s}$: Transformeringsexponent för aktuell sjöekvation (sjö "s")

4.2. Konstanter, koefficienter och exponenter till bruksekvationerna

Ur det principiella formelsystemet enligt avd. 4.1 kan bruksekvationer erhållas för vattenstånden i respektive sjöar såsom funktioner av vattenföring och dämning eller sänkning vid Pierreslutan. Detta åstadkommes genom att aktuella siffervärden på konstant, koefficienter och exponent insättes i grundekvationerna (IVa) och (IVb). Dessa värden finns förtecknade i Bilaga 1, tabell B1:1 (s. 18). I denna tabell står de olika värdena angivna med det antal siffror som erfordras för att ingen av de termer till vilka dessa numeriska värden hör, skall bidra till fel i H_s -värdenas fjärde decimal.

4.3. Bruksekvationernas giltighetsområden

Bruksekvationerna enligt avd. 4.2 är giltiga vid en vattenföring, q_p , vid Pierreslutan av mellan 0,06 och 7,80 m^3/s under vissa begränsningar ifråga om tillåtna värden på dämning och sänkning, Δh_p (m), inom fyra olika " q_p -zoner" enligt nedanstående uppställning:

$$\begin{aligned} q_p\text{-zon I:} \quad & 0,06 \leq q_p < 0,20 \\ & 0,00 \leq \Delta h_p \leq 0,30 \cdot (1,0 + 2,5 \cdot q_p) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} q_p\text{-zon II:} \quad & 0,20 \leq q_p < 1,90 \\ & 0,00 \leq \Delta h_p \leq 0,12 \cdot (3,95 - q_p) \end{aligned}$$

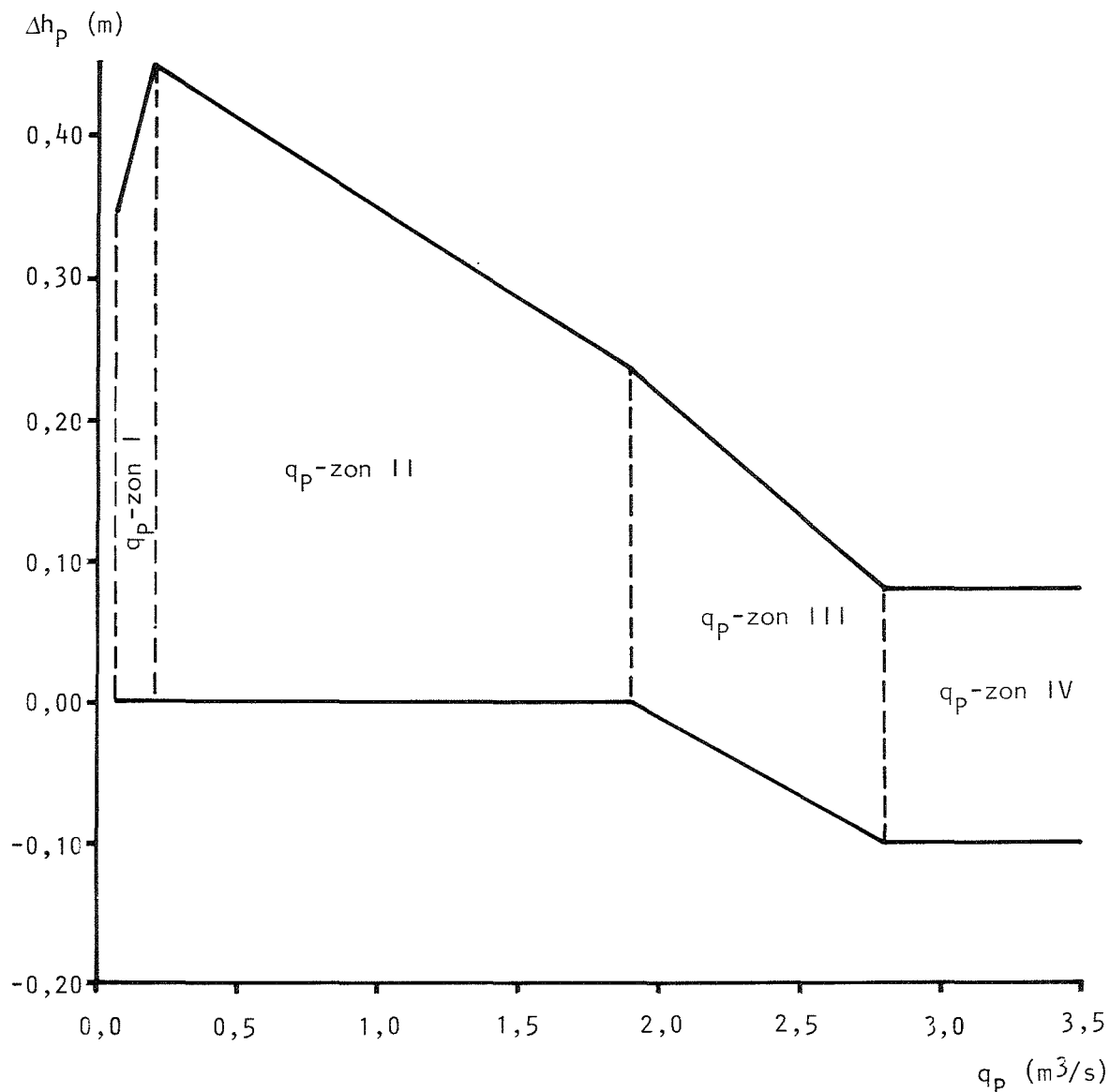
$$\begin{aligned} q_p\text{-zon III:} \quad & 1,90 \leq q_p < 2,80 \\ & (0,209 - 0,110 \cdot q_p) \leq \Delta h_p \leq (0,598 - 0,185 \cdot q_p) \end{aligned}$$

$$q_p\text{-zon IV: } 2,80 \leq q_p \leq 7,80$$

$$-0,10 \leq \Delta h_p \leq 0,08$$

Giltighetsvillkoren åskådliggöres i fig. 1.

Figur 1: Sjönivåekvationernas ungefärliga giltighetsområde i relation till vattenföringen, q_p , respektive dämningen eller sänken, Δh_p , vid Pierreslutan.



4.4. Kommentarer till q_p -zonernas avgränsningar m.m

Gränsen mellan q_p -zonerna I och II går ungefär vid den vattenföring där maximal uppdämningseffekt erhålles efter förverkligande av något av värnalternativen i D22:39:R2-serien. Se avd. 5 och 6 samt jfr BJERKETORP (1975), bl.a. s. 4 (avd. 2.2.2), 14 och 36-41.

Skiljelinjen mellan q_p -zonerna II och III är definierad av den vattenföring som under nu rådande förhållanden svarar mot ett vattenstånd vid Pierreslutan sammanfallande med "tallens nedergräns därstädes minus 0,05 meter" (jfr INGMAR 1973, s. 18-20). Detta vattenstånd - 27,21 mNN(1900; BERG) - har i några av de tidigare framlagda förslagen till alternativ för "höjning av nivåerna vid lågvattenföring i Forsmarksåns vattensystem uppströms Lövestabruk" fastlagts såsom gräns för dämmningsverkans upphörande och sänkningsverkans inträdande. Se Bilaga 2 (kurvfigur K6) och jfr BJERKETORP (1974b), s. 2 och 38-39 samt BJERKETORP (1975), s. 2.

Zonerna III och IV, slutligen, separeras av den vattenföring som svarar mot det vattenstånd - 27,38 mNN(1900;BERG) - där dämmningsverkan beräknas upphöra enligt den viktiga grupp av uppdämmningsförslag som i BJERKETORP (1975) går under beteckningen D22:39:R2-serien (jfr vad som på föregående sida anförts om gränsen mellan q_p -zonerna I och II).

Vattenföringar mindre än $0,060 \text{ m}^3/\text{s}$, d.v.s. flöden mindre än nedre gränsen för q_p -zon I, har inte förekommit under åren 1955-1981. De minsta vattenföringarna - omkring $0,100 \text{ m}^3/\text{s}$ - under dessa 27 år noterades dels hösten 1959 och dels sensommaren 1976. Jämförande studier av nederbörds-mätserier från Lövestabruk 1901-1981 och Uppsala 1881-1981, liksom av en avrinningsmätserie 1916-1980 från Vattholmaågrenen av Fyrisån, lämnar starka indicier för att sannolikheten för vattenföringar vid Pierreslutan under $0,06 \text{ m}^3/\text{s}$, torde vara näst intill noll med nuvarande sektion. Sannolikheten skulle heller inte stiga om t.ex. något av värnalternativen i D22:39:R2-serien kom till utförande.

Vattenföringar större än $7,80 \text{ m}^3/\text{s}$ ($0,058 \text{ m}^3/\text{s km}^2$), d.v.s. flöden större än övre gränsen för q_p -zon IV, har under perioden 1955-1981 endast förekommit åren 1959, 1962 och 1966 ("årsrisk": $3/27=1/9$ eller 11 %) under sammanlagt omkring 30 dygn (0,3 % av hela tiden), varav 21 dygn under den exceptionellt stora vårfloden i maj 1966.

Det må i sammanhanget parentetiskt konstateras, att avbördningsanordningarna nere vid den gamla kvarnen i Lövestabruk, vilka anlades 1963 (INGMAR 1973, s. 33), f.n. inte utan risk för översvämningar i samhället, torde kunna taga emot en vattenföring större än cirka $5,7 \text{ m}^3/\text{s}$, vilket motsvaras av ett vattenstånd av 27,78 mNN(1900;BERG) vid Pierreslutan under nu rådande sektionskonfiguration. Denna vattenföring har åren 1963-1981 endast överskridits en gång (1966), vartill kommer att den under tiden 1955-1962 överträffades två gånger (1959 och 1962).

"Årsrisken" för överskridande (d.v.s. sannolikheten för att ett år med överskridande skall inträffa), räknat för hela 27-årsperioden 1955-1981, är alltså 1/9 eller cirka 11 % (Rekurrensintervall: 9 år). Totala varaktigheten för vattenföringar över $5,7 \text{ m}^3/\text{s}$ var i runt tal 60 dygn (0,6 %), varav 25 å 26 dygn i maj 1966, då en "katastrofränna" tillfälligt måste schaktas upp vid den nämnda kvarnen för att öka avbördningskapaciteten (jfr INGMAR 1973, s. 33). Sedan 1966 har vattenföringen vid Lövestabruk vid två tillfällen kommit upp till en storlek i någorlunda närhet av det kritiska värdet $5,7 \text{ m}^3/\text{s}$. 1970-05-08 uppnåddes $5,2 \text{ m}^3/\text{s}$ och 1981-12-03 $4,8 \text{ m}^3/\text{s}$. Vid dessa båda tillfällen var alltså säkerhetsmarginalerna jämförelsevis små för att möta en eventuellt inträffande mer eller mindre temporär nedsättning av kvarnuteskovets normala avbördningsförmåga. Riskerna med de små säkerhetsmarginalerna framstod i blixtbelysning, när, enligt uppgift i Upsala Nya Tidning (UNT, 1981), en trädgren fastnade i utskovet (luckan) 1981-12-06 och förorsakade översvämning i Lövestabruks samhälle (vattenföringen 1981-12-06 var drygt $4,6 \text{ m}^3/\text{s}$).

4.5. Skattningsvärdenas noggrannhet

De vattenståndsvärden, H_s , som bruksekvationerna (s. 7) ger för respektive sjöar, överensstämmer mycket väl med de empiriskt eller teoretiskt framtagna värdena i underlagsmaterialet (jfr s. 2-3). Inom definitionsområdet (se s. 7-8) är avvikelserna från underlagsvärdena mycket sällan större än $\pm 0,001 \text{ m}$. Den stora noggrannheten motiveras av egenskaper hos den valda matematiska utjämningsmodellen. Studier av funktionernas "uppförande" (förlopp) mellan stödpunkterna, d.v.s. mellan underlagsvärdena (jfr avd. 4.6), indikerar att noggrannheten inom hela definitionsområdet utan tvivel är mycket god. Man får emellertid beakta att underlagsvärdena, och sålunda även de utjämnade skattningsvärdena, ger, avser medelförhållanden. Ganska stora avvikelser från dessa medelförhållanden kan stundom uppträda; uppåt under branta, s.k. stigande hydrogramfaser, och nedåt under likaledes förhållandevis branta "fallande hydrogramfaser". Förutsättningar för väsentliga avvikelser är vid handen nästan enbart i samband med större vårflodstoppar, varför avvikelser av någon egentlig betydelse har kort medelvaraktighet.

4.6. De använda sjönivåekvationernas lämplighet

De tre framtagna bruksekvationernas (s. 7) lämplighet kan bedömas ur olika aspekter, t.ex. a) i hur hög grad de är teoretiskt riktiga eller anpassade till teoretiskt gällande kriterier, b) vilken praktisk hanterbarhet formlerna har och c) den noggrannhet de lämnade estimaten äger.

I anslutning till punkt a) måste betonas att sjönivåekvationerna är rent empiriska och att de i sträng teoretisk mening saknar fysikalisk relevans. De är inte heller dimensionsriktiga. Däremot är de i praktisk bemärkelse väl anpassade till teoretiskt gällande kriterier, i det att de uppfyller alla fundamentala krav på överensstämmelse med den fysiska verkligheten, bl.a. genom att vara monotont stigande med såväl växande q_p -värde som ökande Δh_p -belopp. Även den nämnda monotona tillväxtens skiftande "branthet" inom olika delar av definitionsområdet harmonierar väl med de hydromekaniska lagarna och gällande hydrauliska förutsättningar.

Formlernas praktiska hanterbarhet, nämnd i punkt b) på föregående sida, är inte den allra bästa, till följd av det stora antalet numeriska insättningsvärden. Endast för den som har tillgång till en datamaskin eller till en bordskalkylator med ganska stor programmeringskapacitet eller till utförliga tabeller över funktionsvärdena, är formlerna riktigt lättutnyttjade. Beträffande tabeller, så har förf. för varje sjö tagit fram ett 15-tal tabellblad med funktionsvärdena, av vilka tab. B1:2a-c i Bilaga 1 utgör exempel. De i tab. B1:2a-c givna q_p -värdena 0,295, 0,312, 0,330...0,473 m³/s motsvarar H_p -värdena 26,71, 26,72, 26,73... 26,80 mNN (1900;BERG) enligt nu gällande vattenföringskurva för Pierreslutan (jfr avd. 2.3). Tabellerna B1:2a-c är, liksom minstakvadratanpassningarna (jfr s. 6), utförda med det egenproducerade FORTRAN-programmet TREND2.

Beträffande punkt c), ekvationernas skattningsnoggrannhet, så har det redan under avd. 4.5 fastslagits att estimaten är mycket säkra.

5. VATTENFÖRING EFTER REGLERING ENLIGT D22:39:R2-ALTERNATIVEN

Såsom påpekats på s. 14 i BJERKETORP (1975) torde bland hittills framlagda värförslag endast några av alternativen i D22:39:R2-serien samtidigt 1) uppfylla det uppställda kravet på höjning av vattennivån i Ensjön med 0,30 m vid q_{NLV} och 2) garantera en acceptabel minsta vattenföring nedströms Pierreslutan även under extremt vattenfattiga år. Det har därför befunnits rimligt att här göra en resumé av hur vattenföringarna beräknas för värfalternativen i den nämnda serien. Framställningen anknyter till s. 12-13, 21, 26-28 och 30 i BJERKETORP (1975), men beteckningarna och representationssättet har i någon mån ändrats, vartill kommer att en tabell i BJERKETORP (1975) reviderats och att formler för två tidigare mindre beaktade delar av definitionsområdet tillkommit.

Vattenföringen inom de olika $H_{p,d}$ -intervallen betecknas med $q_{d,i}$, vilket är en förkortning av beteckningen $q_{p,d,i}$ (jfr avd. 2.3).

$$\underline{H_{P,d}}\text{-intervall 1:} \quad (H_0 + 0,020) \leq H_{P,d} \leq H_{b_1}$$

För $s_1 \neq 0$ gäller:

$$q_{d,1} = a_{11}(H_{P,d}-H_0)^{\alpha_1} \cdot (a_2(H_{P,d}-H_0)^{1,5} + a_3(H_{P,d}-H_0)^{2,5}) \quad (V:1a)$$

För $s_1 = 0$ gäller:

$$q_{d,1} = a'_{11}(H_{P,d}-H_0)^{(1,5+\alpha_1)} \quad (V:1b)$$

s_1 : Vågrätta avståndet i m mellan första polygonsidans tröskelanslutning och första brytpunkten i de "sammansatta" överfallsvärnen i D22:39:R2-serien. Se BJERKETORP (1975), s. 5-7 och 22.

$H_{P,d}$: Vattenståndet i mNN(1900;BERG) vid Pierreslutan under dämnda (reglerade) förhållanden.

H_0 : Det aktuella värnalternativets tröskelnivå i mNN(1900; BERG). Se tabell B1:4 på s. 23. Jfr med BJERKETORP (1975), s. 21.

H_{b_1} : Nivån, angiven i mNN(1900;BERG), för det aktuella värnets första brytpunkt. Antar antingen värdet 27,00 eller 26,99 (BJERKETORP 1975, s. 21). Jfr BJERKETORP (1975), s. 6 och t.ex. s. 36 och 39.

I BJERKETORP (1975), s. 12-13 och 26, motsvaras $q_{d,1}$ av q_1 och $(H_{P,d}-H_0)$ motsvaras av h . Koefficienterna a_{11} , a_2 , a_3 och a'_{11} samt exponenten α_1 är alla förtecknade på s. 26 i BJERKETORP (1975).

$$\underline{H_{P,d}}\text{-intervall 2:} \quad H_{b_1} < H_{P,d} < 27,12$$

$$q_{d,2} = a_{12}(H_{P,d}-H_0)^{\alpha_2} \cdot (a_2(H_{P,d}-H_0)^{1,5} + a_3(H_{P,d}-H_0)^{2,5} + a_4(H_{P,d}-H_{b_1})^{2,5}) \quad (V:2)$$

Den stora parentesens andra term, $a_3(H_{P,d}-H_0)^{2,5}$, bortfaller om $s_1 = 0$.

s_1 , $H_{P,d}$, H_0 och H_{b_1} har samma betydelse som i (V:1a) och i (V:1b). Jfr ovan samt med BJERKETORP (1975), s. 21.

På s. 13 och 27 i BJERKETORP (1975) motsvaras $q_{d,2}$ av q_2 och $(H_{P,d}-H_0)$ motsvaras av h . Koefficienterna a_{12} , a_2 , a_3 och a_4 samt exponenten α_2 är tabellerade på s. 27 i BJERKETORP (1975).

Observera att $(H_{P,d}-H_{b_1})$ är lika med det i BJERKETORP (1975) använda parentesuttrycket $(h-h_2)$, eftersom $h=(H_{P,d}-H_0)$ och $h_1=(H_{b_1}-H_0)$.

H_{P,d}-intervall 3:

$$27,12 \leq H_{P,d} < 27,25$$

$$q_{d,3} = a_{13}(H_{P,d}-H_0)^{\alpha_3} \cdot (a_2(H_{P,d}-H_0)^{1,5} + a_3(H_{P,d}-H_0)^{2,5} + a_4(H_{P,d}-H_{b_1})^{2,5} + a_5(H_{P,d}-27,12)^{2,5}) \quad (V:3)$$

Den stora parentesens andra term, $a_3(H_{P,d}-H_0)^{2,5}$, bortfaller om $s_1=0$.

s_1 , $H_{P,d}$, H_0 och H_{b_1} har samma betydelse som i (V:1a) och (V:1b). Jfr med föregående sida och med BJERKETORP (1975), s. 21.

På s. 13 och 28 i BJERKETORP (1975) motsvaras $q_{d,3}$ av q_3 och $(H_{P,d}-H_0)$ av h . Koefficienterna a_{13} , a_2 , a_3 , a_4 och a_5 samt exponenten α_3 finns upptagna i tabellen på s. 28 i BJERKETORP (1975).

Observera att $(H_{P,d}-27,12)$ är lika med parentesuttrycket $(h-h_2)$ i BJERKETORP (1975), eftersom $h = (H_{P,d}-H_0)$ och $h_2 = (H_{b_2}-H_0) = (27,12-H_0)$.

Beträffande parentesen $(H_{P,d}-H_{b_1})$, se kommentarerna till (V:2).

H_{P,d}-intervall 4:

$$27,25 \leq H_{P,d} < 27,38$$

$$q_{d,4} = c_{14} + c_{24}(H_{P,d}-H_0) + c_{34}(H_{P,d}-H_0)^{2,0} \quad (V:4)$$

$H_{P,d}$ och H_0 har samma betydelse som i (V:1a) och (V:1b). Jfr med föregående sida och med BJERKETORP (1975), s. 21.

På s. 13 och 30 i BJERKETORP (1975) motsvaras $q_{d,4}$ av q_4 eller q , $H_{P,d}$ av H och c_{14} , c_{24} resp. c_{34} av c_1 , c_2 resp. c_3 . Konstant- och koefficientvärden finns visserligen förtecknade i en tabell på s. 30 i BJERKETORP (1975), men eftersom vissa av de där givna värdena visat sig vara väl inexakta, har en ny reviderad tabell utarbetats och införts på s. 22 i Bilaga 1. Den nya tabellens nummer är B1:3.

H_{P,d}-intervall 5:

$$27,38 \leq H_{P,d} < 27,50$$

$$q_{d,5} = c_{15} + c_{25}(H_{P,d}-H_0) + c_{35}(H_{P,d}-H_0)^{2,0} \quad (V:5)$$

$H_{P,d}$ och H_0 har samma betydelse som tidigare angivits. Någon formel motsvarande (V:5) finns inte i BJERKETORP (1975).

Konstant- och koefficientvärden till (V:5) redovisas i tabell B1:4 på s. 23 i Bilaga 1.

$H_{p,d}$ -intervall 6:

$$H_{p,d} \geq 27,50$$

$$q_{d,6} = 2,57 \cdot (H_{p,d} - 26,28)^{2,18} \quad (V:6)$$

$H_{p,d}$ har samma betydelse som i (V:1a) och (V:1b) på s. 12. Någon formel som motsvarar (V:6) finns inte i BJERKETORP (1975), liksom inte heller i BJERKETORP (1974b) eller i BJERKETORP (1974c). Grafen till ekvation (V:6) överensstämmer emellertid ytterst nära med de övre avsnitten av de vattenföringskurvor vilka i BJERKETORP (1974b; 1974c; 1975) anges vara gällande för situationen efter värnanläggning och (OBS!) bottenupprepning (jfr BJERKETORP 1975, s. 14, 3:e stycket!). Den nära överensstämmelsen belyses t.ex. av figurerna på s. 39 och 40 i BJERKETORP (1974b), liksom på s. 45 och 51 i BJERKETORP (1975). Jfr Bilaga 2, kurvfig. K3, K4, K6 och K8 på s. 32, 33, 35 resp. 37 i föreliggande rapport.

De olika formlerna för $q_{d,i}$, och då i synnerhet dem som gäller $H_{p,d}$ -intervallen ("i"-värdena) 1-3, har underkastats en förnyad prövning, varvid bl.a. följande litteratur anlitats: *BAZIN (1894; 1898), VENNARD & WESTON (1943), VILLEMONTÉ (1947), MAVIS (1949), SCHMIDT (1957), PRESS & SCHRÖDER (1966), DeCOURSEY & BLANCHARD (1970) och DOMOKOS & KOVÁCS (1980) samt flera av de arbeten som är upptagna i litteraturförteckningen på s. 29 i BJERKETORP (1974c). Kontrollberäkningarna verifierade klart att $q_{d,i}$ -formlerna får anses äga full giltighet.

6. VATTENSTÅNDSHÖJNINGAR VID OLIKA VATTENFÖRING GENOM D22:39:R2-VÄRNEN

Med hjälp av (a) ekvationerna för $q_{d,i}$ (avd. 5), (b) inverserna (OBS!) till formlerna för $q_{u,i}$ (avd. 2.3) och (c) bruksekvationerna för bestämning av H_s -värden för sjöarna uppströms Pierreslutan (avd. 4), kan korresponderande vattenstånd och korresponderande vattenståndshöjningar för Ensjön, Finnsjön och Vikasjön framräknas för varje arbiträrt $q_{d,i}$ -värde mellan 0,060 och 7,8 m³/s vid Pierreslutan efter insatt reglering med hjälp av värn i D22:39:R2-serien. I tabellerna B1:6a-d i Bilaga 1 (s. 25-28) förtecknas korresponderande vattenståndshöjningar (jfr tab. 1-2 på s. 5) för de fem kanske mest intressanta värnvarianterna i D22:39:R2-serien, nämligen D22:39:R219-R223 (jfr BJERKETORP 1975, s. 14). Tabellerna har framtagits med hjälp av det egenproducerade FORTRAN-programmet PIERR3. q_d -värdet 0,050 m³/s ligger utanför H_s -formlernas (sjönivåekvationernas) giltighetsområde (jfr s. 7), varför de korresponderande vattenstånden för denna låga vattenföring har skattats för sig. Kurvfig. K9 på s. 38 visar grafiskt (som exempel) de vattenståndshöjningar som regleringsalternativet D22:39:R221 medför i $q_{p,d}$ -intervallet 0,050-0,700 m³/s.

7. LITTERATURFÖRTECKNING

- Advani, R.M. 1959. Computation of backwater curves in open channels. Institution of Engineers (India), Journal 40:2, Pt 1, s. 35-37.
- Bakhmeteff, B.A. 1932. Hydraulics of open channels. New York. McGraw-Hill.
- Berg, S.O. 1945. Utredning angående torrläggning av vissa områden i norra Uppland. Del 1. Maskinskrift. Uppsala.
- Bazin, H. 1894. Expériences nouvelles sur l'écoulement en déversoir, 4^e article. Annales des Ponts et Chaussées. Mémoires et documents 7:7, s. 249-357, pl. 6-10.
- Bazin, H. 1898. Expériences nouvelles sur l'écoulement en déversoir, exécutées à Dijon de 1886 à 1895. Paris. Dunod.
- Bjerketorp, A. 1973. Några metoder för avkortad mätning och beräkning av flöde i små vattendrag. Del I: Avkortade metoder vid flygelmätning: Några allmänna förutsättningar för mätningssproceduren ... Lantbrukshögskolan, Uppsala. Institutionen för markvetenskap. Avdelningen för lantbrukets hydroteknik. Stenciltryck 60.
- Bjerketorp, A. 1974a. Beräkning av dämpningskurvor enligt Bakhmeteff-Felkels integreringsförfarande. Del II: Detaljtabeller över enhetsdämpningsvidder. Lantbrukshögskolan, Uppsala. Inst. för markvetenskap. Avd. för lantbrukets hydroteknik. Stenciltryck 74.
- Bjerketorp, A. 1974b. Höjning av nivåerna vid lågvattenföring i Forsmarksåns vattensystem uppströms Lövestabruk. (1:) En preliminär utredning. Lantbrukshögskolan, Uppsala. Inst. för markvetenskap. Avd. för lantbrukets hydroteknik. Stenciltryck 75.
- Bjerketorp, A. 1974c. Höjning av nivåerna vid lågvattenföring i Forsmarksåns vattensystem uppströms Lövestabruk. (2:) Ett yttrande över ett yttrande. Lantbrukshögskolan, Uppsala. Inst. för markvetenskap. Avd. för lantbrukets hydroteknik. Stenciltryck 80.
- Bjerketorp, A. 1975. Höjning av nivåerna vid lågvattenföring i Forsmarksåns vattensystem uppströms Lövestabruk. 3: Ytterligare förslag till värnutformningar. Lantbrukshögskolan, Uppsala. Inst. för markvetenskap. Avd. för lantbr. hydroteknik. Stenciltryck 83.
- Chorley, R.J. & Haggett, P. 1965. Trend-surface mapping in geographical research. Institute of British Geographers, Transactions 37, s. 47-67.
- Chow, V.T. 1955. Integrating the equation of gradually varied flow. American Society of Civil Engineers (New York). Hydraulics Division, Proceedings 81:HY6, s. 838.1-838.32.
- Dahlström, B. 1970. Calculation of rain values in grid points on the basis of irregularly spaced rainfall observations obtained by dense network. Nordisk Hydrologisk Konferens (I), Stockholm 26-29 aug. 1970, (Förhandstryck) vol. 2, s. 91-96.
- DeCoursey, D.G. & Blanchard, B.J. 1970. Flow analysis of large triangular weir. American Society of Civil Engineers (New York). Hydraulics Division, Journal 96:HY7, s. 1435-1454.

- Domokos, M. & Kovács, G. 1980. Ermittlung der Schlüsselfunktion eines zeitweise unter Rückstau stehenden kombinierten Abflussmessbauwerks bei Vorliegen nur mangelhafter Messdaten. Deutsche Gewässerkundliche Mitteilungen (DGM) 24:6, s. 164-171.
- Felkel, K. 1958. Die Berechnung der Staukurve mit dem Integrierverfahren. Die Bautechnik 35:4, s. 121-125.
- Ingmar, T. 1973. Ursprungliga vattenståndsförhållanden mellan Vikasjön och Pierreslutan i Forsmarksåns vattenområde. Uppsala. Länsstyrelsen i Uppsala län. Naturvårdsenheten.
- Klameth, E. 1958. Die Verfahren von Bakhmeteff und ihre Anwendung bei der hydraulischen Berechnung für offene Ueberleitungskanäle. Die Wasserwirtschaft 48(1957/58):4, s. 90-97.
- Krumbein, W.C. & Graybill, F.A. 1965. An introduction to statistical models in geology (s. 319-357). New York. McGraw-Hill.
- Kvarnäs, H. 1978. Dynamiska studier i Vätern och Ekoln. Naturvårdsverkets Limnologiska Undersökning, Uppsala. NLU Rapport 93.
- Leliavsky, S. 1965. River and canal hydraulics. Vol. IV (s. 205-214). London. Chapman & Hall.
- Mavis, F.T. 1949. Submerged thin-plate weirs. Engineering News-Record 143(1949:11):1, s. 65-69.
- Omorinbola, E.O. 1981. Components of saturated zone thickness... Hydrological Science Bulletin 26:3, s. 291-303.
- Press, H. & Schröder, R. 1966. Hydromechanik im Wasserbau (s. 343-358). Berlin & München. Wilhelm Ernst & Sohn.
- Rothmund, L. 1949. Die Gleichungen der Stau- und Senkungsweiten für rechteckigen und parabolischen Gerinnequerschnitt und ihre praktische Anwendung. Bautechnik-Archiv 1949:5, s. 25-42.
- Schmidt, M. 1957. Die Berechnung unvollkommener Ueberfälle. Die Wasserwirtschaft 47(1956/57):7, s. 174-178.
- Thomas, E. & Stressmann, U. 1972. Auswertung von Standardversuchen mittels Ausgleichpolynoms. Archiv für Acker- und Pflanzenbau und Bodenkunde 16:9, s. 655-663.
- Ulén, B. & Brink, N. 1980. Omgivningens betydelse för primärproduktionen i Vadsbrosjön. Sveriges Lantbruksuniversitet, Uppsala. Inst. för markvetenskap. Avd. för vattenvård. Ekohydrologi 7, s. 21-37.
- UNT. 1981. Trädgren fastnade i dammlucka. Översvämning i Lövstabruk. Uppsala Nya Tidning (UNT) 91:284, s. 8 (1981-12-08).
- Unwin, D.J. 1969. The areal extension of rainfall records: an alternative model. Journal of Hydrology (Amsterdam) 7:4, s. 404-414.
- Vennard, J.K. & Weston, R.F. 1943. Submergence effect on sharp-crested weirs. Engineering News-Record 130:22, s. 814-816.
- Villemonte, J.R. 1947. Submerged-weir discharge studies. Engineering News-Record 139:26, s. 866-869.

8. BILAGA 1; TABELLER

	sid.
<u>Tabell B1:1:</u> Numeriska insättningsvärden för ekvationerna (IVa) och (IVb) på s. 6	18
<u>Tabellerna B1:2a-c:</u> Exempel på datamaskinproducerade tabeller över vattenstånden i Ensjön, Finnsjön respektive Vikasjön såsom funktioner av vattenföring och uppdämningshöjd vid Pierreslutan (jfr s. 11)	19-21
<u>Tabell B1:3:</u> Numeriska insättningsvärden för ekvation (V:4) på s. 13	22
<u>Tabell B1:4:</u> Numeriska insättningsvärden för ekvation (V:5) på s. 13	23
<u>Tabell B1:5:</u> "Medelförhållandevattenstånd" (jfr avd. 4.5 på s. 10) i En- sjön, Finnsjön och Vikasjön vid ett antal olika vattenstånd vid Pierreslutan under <u>oreglerade</u> ($\Delta h_p = 0$) förhållanden	24
<u>Tabellerna B1:6a-d:</u> Korresponderande vattenståndshöjningar i Forsmarksåsystemet enligt fem alternativ i D22:39:R2-serien (jfr s. 14)	25-28

Tabell B1:1: Konstant ($b_{1,s}$), koefficienter ($b_{2,s} \dots b_{28,s}$) och transformeringsindex ($b_{29,s}$) i var och en av de ekvationer vilka ger vattenstånden i Ensjön, Finnsjön resp. Vikasjön såsom funktioner av den samtidiga vattenföringen och dämningen (sänkningen) vid Pierreslutan (jfr avd. 4).

Beteckning för konstant etc.	s=ENSJÖN	s=FINNSJÖN	s=VIKASJÖN
$b_{1,s}$	26,3665	26,1572	24,5853
$b_{2,s}$	0,3296	0,7763	1,3497
$b_{3,s}$	1,08381	2,11311	11,88830
$b_{4,s}$	2,3393	-0,5546	6,8305
$b_{5,s}$	0,7379	-1,9799	-6,6475
$b_{6,s}$	-0,77019	-3,10596	-28,64826
$b_{7,s}$	-2,666	12,303	-13,331
$b_{8,s}$	-3,8322	4,2741	-21,1840
$b_{9,s}$	-0,9643	3,5471	15,0616
$b_{10,s}$	0,841277	4,003423	38,26410
$b_{11,s}$	-7,376	-44,378	-15,955
$b_{12,s}$	8,066	-15,548	65,501
$b_{13,s}$	2,0562	-7,2210	21,4216
$b_{14,s}$	0,49629	-3,03770	-15,7311
$b_{15,s}$	-0,485182	-2,630078	-26,942857
$b_{16,s}$	16,637	46,622	31,163
$b_{17,s}$	4,419	56,040	-11,727
$b_{18,s}$	-4,801	4,427	-70,220
$b_{19,s}$	-0,1788	4,5547	-8,5747
$b_{20,s}$	-0,11307	1,18724	7,52232
$b_{21,s}$	0,134374	0,846902	9,626621
$b_{22,s}$	-7,636	-12,344	-13,696
$b_{23,s}$	-11,240	-39,590	-12,023
$b_{24,s}$	-0,920	-14,706	16,366
$b_{25,s}$	0,8805	0,4011	21,938
$b_{26,s}$	-0,0467	-0,9036	1,2531
$b_{27,s}$	0,010872	-0,16727	-1,32857
$b_{28,s}$	-0,0144574	-0,1076263	-1,383403
$b_{29,s}$	0,50000	0,40000	0,30000

TABELL B1:2a: Vattenståndet i mNN(1900;BERG) i ENSJÖN såsom funktion av vattenföring,
 $q_p=Q$, i m^3/s och uppdämningshöjd, $\Delta h_p=DH$, i m vid Pierreslutan.

EXEMPEL: q_p -intervallet 0,295-0,473 m^3/s

DH (M)	Q (M**3/S)									
	0.295	0.312	0.330	0.349	0.368	0.388	0.408	0.429	0.451	0.473
0.0	26.827	26.838	26.849	26.861	26.873	26.885	26.896	26.908	26.920	26.932
0.02	26.837	26.849	26.860	26.872	26.884	26.895	26.907	26.919	26.931	26.942
0.04	26.849	26.860	26.871	26.883	26.895	26.907	26.918	26.930	26.942	26.954
0.06	26.861	26.872	26.883	26.895	26.907	26.918	26.930	26.942	26.954	26.965
0.08	26.873	26.885	26.896	26.908	26.919	26.931	26.943	26.954	26.966	26.977
0.10	26.887	26.898	26.909	26.921	26.932	26.944	26.955	26.967	26.979	26.990
0.12	26.901	26.912	26.923	26.934	26.946	26.957	26.969	26.981	26.992	27.004
0.14	26.915	26.926	26.937	26.949	26.960	26.972	26.983	26.994	27.006	27.017
0.16	26.930	26.941	26.952	26.963	26.975	26.986	26.998	27.009	27.020	27.032
0.18	26.945	26.956	26.967	26.979	26.990	27.001	27.013	27.024	27.035	27.047
0.20	26.961	26.972	26.983	26.994	27.006	27.017	27.028	27.039	27.051	27.062
0.22	26.978	26.988	26.999	27.010	27.022	27.033	27.044	27.055	27.066	27.077
0.24	26.994	27.005	27.016	27.027	27.038	27.049	27.060	27.071	27.082	27.094
0.26	27.011	27.022	27.033	27.044	27.055	27.066	27.077	27.088	27.099	27.110
0.28	27.028	27.039	27.050	27.061	27.072	27.083	27.094	27.105	27.116	27.127
0.30	27.046	27.057	27.067	27.078	27.089	27.100	27.111	27.122	27.133	27.144
0.32	27.064	27.074	27.085	27.096	27.107	27.118	27.128	27.139	27.150	27.161
0.34	27.082	27.092	27.103	27.114	27.124	27.135	27.146	27.157	27.168	27.179
0.36	27.100	27.110	27.121	27.132	27.142	27.153	27.164	27.175	27.186	27.196
0.38	27.118	27.129	27.139	27.150	27.161	27.171	27.182	27.193	27.203	27.214
0.40	27.137	27.147	27.157	27.168	27.179	27.189	27.200	27.211	27.221	27.232
0.42	27.155	27.166	27.176	27.187	27.197	27.208	27.218	27.229	27.239	27.249
0.44	27.174	27.184	27.194	27.205	27.215	27.226				

TABELL B1:2b: Vattenståndet i mNN(1900;BERG) i FINNSJÖN såsom funktion av vattenföring,
 $q_p=Q$, i m^3/s och uppdämningshöjd, $\Delta h_p=DH$, i m vid Pierreslutan.

EXEMPEL: q_p -intervallet 0,295-0,473 m^3/s

DH (M)	Q (M**3/S)									
	0,295	0,312	0,330	0,349	0,368	0,388	0,408	0,429	0,451	0,473
0,0	26,905	26,918	26,931	26,944	26,958	26,971	26,985	26,998	27,012	27,025
0,02	26,912	26,925	26,938	26,951	26,965	26,978	26,992	27,005	27,019	27,032
0,04	26,919	26,932	26,945	26,959	26,972	26,986	26,999	27,012	27,026	27,039
0,06	26,928	26,940	26,953	26,967	26,980	26,994	27,007	27,020	27,034	27,047
0,08	26,936	26,949	26,962	26,975	26,989	27,002	27,015	27,029	27,042	27,055
0,10	26,946	26,958	26,971	26,984	26,998	27,011	27,024	27,037	27,051	27,064
0,12	26,956	26,968	26,981	26,994	27,007	27,021	27,034	27,047	27,060	27,073
0,14	26,967	26,979	26,992	27,005	27,018	27,031	27,044	27,057	27,070	27,083
0,16	26,978	26,991	27,003	27,016	27,029	27,042	27,055	27,068	27,081	27,094
0,18	26,990	27,003	27,015	27,028	27,041	27,054	27,066	27,079	27,092	27,105
0,20	27,003	27,015	27,028	27,040	27,053	27,066	27,079	27,091	27,104	27,117
0,22	27,017	27,029	27,041	27,054	27,066	27,079	27,091	27,104	27,116	27,129
0,24	27,031	27,043	27,055	27,067	27,080	27,092	27,105	27,117	27,130	27,142
0,26	27,045	27,057	27,069	27,081	27,094	27,106	27,118	27,131	27,143	27,155
0,28	27,060	27,072	27,084	27,096	27,108	27,120	27,133	27,145	27,157	27,169
0,30	27,076	27,087	27,099	27,111	27,123	27,135	27,147	27,159	27,172	27,184
0,32	27,091	27,103	27,115	27,127	27,139	27,151	27,163	27,175	27,187	27,199
0,34	27,108	27,119	27,131	27,142	27,154	27,166	27,178	27,190	27,202	27,214
0,36	27,124	27,136	27,147	27,159	27,170	27,182	27,194	27,206	27,217	27,229
0,38	27,141	27,152	27,164	27,175	27,187	27,199	27,210	27,222	27,233	27,245
0,40	27,158	27,169	27,181	27,192	27,204	27,215	27,227	27,238	27,250	27,261
0,42	27,175	27,187	27,198	27,209	27,221	27,232	27,243	27,255	27,266	27,277
0,44	27,193	27,204	27,215	27,226	27,238	27,249				

TABELL B1:2c: Vattenståndet i mNN(1900;BERG) i VIKASJÖN såsom funktion av vattenföring,
 $q_p=Q$, i m^3/s och uppdämningshöjd, $\Delta h_p=DH$, i m vid Pierreslutan.
 EXEMPEL: q_p -intervallet 0,295-0,473 m^3/s

DH (M)	Q (M**3/S)									
	0,295	0,312	0,330	0,349	0,368	0,388	0,408	0,429	0,451	0,473
0,0	26,972	26,987	27,001	27,016	27,031	27,046	27,061	27,076	27,091	27,107
0,02	26,978	26,992	27,007	27,021	27,036	27,051	27,067	27,082	27,097	27,112
0,04	26,983	26,998	27,012	27,027	27,042	27,057	27,072	27,087	27,102	27,117
0,06	26,989	27,003	27,018	27,032	27,047	27,062	27,077	27,092	27,107	27,122
0,08	26,995	27,009	27,024	27,038	27,053	27,068	27,083	27,098	27,113	27,128
0,10	27,002	27,016	27,030	27,045	27,060	27,075	27,089	27,104	27,119	27,134
0,12	27,009	27,023	27,037	27,052	27,067	27,081	27,096	27,111	27,126	27,141
0,14	27,017	27,031	27,045	27,060	27,074	27,089	27,104	27,118	27,133	27,148
0,16	27,026	27,040	27,054	27,068	27,083	27,097	27,112	27,126	27,141	27,156
0,18	27,035	27,049	27,063	27,077	27,092	27,106	27,121	27,135	27,149	27,164
0,20	27,046	27,059	27,073	27,087	27,101	27,116	27,130	27,144	27,159	27,173
0,22	27,056	27,070	27,083	27,097	27,112	27,126	27,140	27,154	27,168	27,183
0,24	27,068	27,081	27,095	27,109	27,123	27,136	27,151	27,165	27,179	27,193
0,26	27,080	27,093	27,107	27,120	27,134	27,148	27,162	27,176	27,190	27,204
0,28	27,093	27,106	27,119	27,133	27,146	27,160	27,174	27,187	27,201	27,215
0,30	27,106	27,119	27,132	27,146	27,159	27,172	27,186	27,200	27,213	27,227
0,32	27,120	27,133	27,146	27,159	27,172	27,186	27,199	27,212	27,226	27,239
0,34	27,135	27,147	27,160	27,173	27,186	27,199	27,212	27,226	27,239	27,252
0,36	27,150	27,162	27,175	27,187	27,200	27,213	27,226	27,239	27,253	27,266
0,38	27,165	27,177	27,190	27,202	27,215	27,228	27,241	27,254	27,267	27,279
0,40	27,181	27,193	27,205	27,218	27,230	27,243	27,256	27,268	27,281	27,294
0,42	27,197	27,209	27,221	27,233	27,246	27,258	27,271	27,283	27,296	27,308
0,44	27,213	27,225	27,237	27,249	27,262	27,274				

Tabell B1:3: Konstanter och koefficienter till det i vattenstånds-
intervallet $27,25 \leq H_{P,d} < 27,38$ mNN(1900;BERG) vid
Pierreslutan approximativt giltiga funktionsuttrycket

$$q_{d,4} = c_{14} + c_{24}(H_{P,d} - H_0) + c_{34}(H_{P,d} - H_0)^2$$

(jfr s. 13) samt funktionsvärden för fyra $H_{P,d}$ -värden.

H_0 -värden redovisas i tabell B1:4 på nästa sida.

Funktionen användes endast för D22:39:R2-serien.

Tabellen ersätter tab. 11 på s. 30 i BJERKETORP (1975).

Alternativ	c_{14}	c_{24}	c_{34}	$q_{d,4}$ i m^3/s vid $H_{P,d} =$			
				27,25	27,29	27,33	27,38
D22:39:R216B	39,583	-81,52	42,53	0,959	1,372	1,922	(2,801)
D22:39:R217B	32,970	-74,54	42,83	0,965	1,375	1,923	(2,800)
D22:39:R218B	36,116	-78,13	42,90	0,967	1,377	1,924	(2,801)
D22:39:R219	40,512	-83,04	43,15	0,973	1,380	1,924	(1,799)
D22:39:R220	33,146	-73,90	41,79	0,943	1,364	1,918	(1,799)
D22:39:R221	33,403	-76,42	41,80	0,943	1,364	1,919	(2,800)
D22:39:R222	37,890	-79,19	41,91	0,946	1,366	1,920	(2,801)
D22:39:R223	40,598	-82,19	42,11	0,950	1,368	1,921	(2,801)

Tabell B1:4: Konstanter och koefficienter till det i vattenståndsintervalllet $27,38 \leq H_{P,d} < 27,50$ mNN(1900;BERG) vid Pierreslutan approximativt giltiga funktionsuttrycket

$$q_{d,5} = c_{15} + c_{25}(H_{P,d} - H_0) + c_{35}(H_{P,d} - H_0)^{2,0}$$

(jfr s. 13) samt funktionsvärden för tre $H_{P,d}$ -värden. Även H_0 -värden (tröskelnivåer) redovisas. Funktionen användes endast för D22:39:R2-serien.

Alternativ	c_{15}	c_{25}	c_{35}	H_0	$q_{d,5}$ i m^3/s vid $H_{P,d} =$		
					27,38	27,44	27,50
D22:39:R216B	-44,254	66,65	-22,78	26,19	2,801	3,465	(3,965)
D22:39:R217B	-39,377	64,16	-23,47	26,28	2,800	3,467	(3,965)
D22:39:R218B	-42,166	66,36	-23,61	26,24	2,801	3,468	(3,964)
D22:39:R219	-46,867	70,82	-24,44	26,19	2,799	3,470	(3,966)
D22:39:R220	-38,181	60,86	-21,67	26,26	2,799	3,460	(3,966)
D22:39:R221	-39,767	61,74	-21,50	26,23	2,800	3,460	(3,965)
D22:39:R222	-41,885	63,44	-21,67	26,20	2,801	3,461	(3,965)
D22:39:R223	-44,247	65,43	-21,94	26,17	2,801	3,462	(3,965)

Tabell B1:5: För medelförhållanden gällande "ursprungliga", d.v.s. oreglerade ($\Delta h_p=0!$), vattenstånd i Ensjön, Finnsjön och Vikasjön vid olika vattenföringar ($q_{p,u}$) och vattenstånd ($H_{p,u}$) vid Pierreslutan. Tabellen anger dessutom differensen mellan varje upptaget vattenstånd i Vikasjön och tillsvarende vattenstånd vid Pierreslutan.

Beträffande medelförhållanden, se avd. 4.5 på s. 10.

$q_{p,u}$ (m^3/s)	Vattenstånd i mNN(1900;BERG) vid				Differens Vikasjön- -Pierresl.
	Pierre- slutan ($H_{p,u}$)	Ensjön	Finnsjön	Vikasjön	
0,073	26,530	26,617	26,653	26,689	0,159
0,110	26,570	26,666	26,716	26,764	0,194
0,150	26,610	26,710	26,769	26,824	0,214
0,203	26,650	26,757	26,824	26,885	0,235
0,263	26,690	26,804	26,878	26,943	0,253
0,330	26,730	26,849	26,931	27,001	0,271
0,408	26,770	26,896	26,985	27,061	0,291
0,496	26,810	26,944	27,039	27,122	0,312
0,592	26,850	26,991	27,092	27,182	0,332
0,726	26,900	27,050	27,159	27,258	0,358
0,875	26,950	27,110	27,226	27,333	0,383
1,039	27,000	27,170	27,296	27,406	0,406
1,218	27,050	27,230	27,357	27,478	0,428
1,413	27,100	27,289	27,421	27,547	0,447
1,623	27,150	27,348	27,484	27,613	0,463
1,850	27,200	27,406	27,545	27,676	0,476
2,351	27,300	27,519	27,661	27,795	0,495
2,918	27,400	27,628	27,770	27,904	0,504
3,552	27,500	27,731	27,871	28,003	0,503
4,253	27,600	27,829	27,967	28,096	0,496
5,024	27,700	27,923	28,056	28,181	0,481
5,864	27,800	28,011	28,137	28,256	0,456
6,776	27,900	28,093	28,209	28,318	0,418
7,758	28,000	28,163	28,263	28,357	0,357

Tabell B1:6a: Korresponderande vattenståndshöjningar (m) i Forsmarksåsystemet enligt värnalternativen D22:39:R219-R223 i samband med vattenföringar vid Pierreslutan ($q_p = q_{d,1}$) av mellan 0,050 och 0,120 m³/s (jfr s. 14).

$q_p = q_{d,1}$ (m ³ /s)	Alter-nativ	Vattenståndshöjningar (m) vid			
		Pierre-slutan	Ensjön	Finnsjön	Vikasjön
0,050	R219	0,079	0,045	0,036	0,027
	R220	0,075	0,042	0,034	0,025
	R221	0,055	0,030	0,023	0,016
	R222	0,036	0,018	0,013	0,008
	R223	0,017	0,008	0,005	0,002
0,060	R219	0,117	0,072	0,060	0,048
	R220	0,108	0,065	0,054	0,043
	R221	0,089	0,052	0,043	0,033
	R222	0,071	0,040	0,033	0,025
	R223	0,055	0,030	0,024	0,018
0,070	R219	0,153	0,100	0,083	0,067
	R220	0,139	0,089	0,073	0,059
	R221	0,122	0,076	0,062	0,049
	R222	0,106	0,064	0,052	0,040
	R223	0,092	0,054	0,043	0,033
0,080	R219	0,187	0,128	0,106	0,086
	R220	0,170	0,114	0,093	0,075
	R221	0,155	0,101	0,082	0,066
	R222	0,140	0,090	0,072	0,057
	R223	0,128	0,081	0,064	0,050
0,090	R219	0,219	0,155	0,129	0,106
	R220	0,201	0,140	0,115	0,093
	R221	0,187	0,128	0,104	0,084
	R222	0,174	0,118	0,095	0,076
	R223	0,163	0,109	0,087	0,069
0,100	R219	0,251	0,182	0,153	0,125
	R220	0,231	0,165	0,137	0,111
	R221	0,218	0,154	0,127	0,102
	R222	0,208	0,145	0,119	0,095
	R223	0,199	0,138	0,112	0,090
0,110	R219	0,281	0,208	0,176	0,145
	R220	0,261	0,191	0,159	0,130
	R221	0,250	0,181	0,150	0,122
	R222	0,241	0,174	0,144	0,116
	R223	0,235	0,168	0,138	0,112
0,120	R219	0,310	0,234	0,198	0,164
	R220	0,291	0,217	0,182	0,150
	R221	0,282	0,209	0,175	0,143
	R222	0,275	0,203	0,169	0,138
	R223	0,271	0,199	0,166	0,135

Tabell B1:6b: Korresponderande vattenståndshöjningar (m) i Forsmarksåsystemet enligt värnalternativen D22:39:R219-R223 i samband med vattenförlingar vid Pierreslutan ($q_p = q_{d,i}$: $i = 1$ eller 2) av mellan $0,130$ och $0,300 \text{ m}^3/\text{s}$ (jfr s. 14).

$q_p = q_{d,i}$ (m^3/s)	Alter-nativ	Vattenståndshöjningar (m) vid			
		Pierre-slutan	Ensjön	Finnsjön	Vikasjön
0,130	R219	0,338	0,259	0,220	0,184
	R220	0,321	0,244	0,206	0,171
	R221	0,314	0,237	0,200	0,165
	R222	0,309	0,233	0,196	0,162
	R223	0,307	0,231	0,194	0,160
0,140	R219	0,365	0,284	0,241	0,204
	R220	0,352	0,271	0,230	0,193
	R221	0,346	0,266	0,225	0,188
	R222	0,344	0,264	0,223	0,187
	R223	0,343	0,263	0,222	0,187
0,150	R219	0,391	0,307	0,262	0,223
	R220,R223	0,382	0,299	0,254	0,215
	R221-R222	0,379	0,296	0,252	0,213
0,160	R219	0,407	0,322	0,275	0,234
	R220-R222	0,400	0,316	0,269	0,228
	R223	0,402	0,317	0,270	0,229
0,170	R219	0,413	0,328	0,279	0,238
	R220-R222	0,407	0,322	0,274	0,233
	R223	0,409	0,324	0,275	0,234
0,180	R219	0,416	0,330	0,280	0,238
	R220-R222	0,411	0,325	0,276	0,234
	R223	0,412	0,326	0,277	0,235
0,190	R219	0,417	0,331	0,280	0,237
	R220-R222	0,412	0,326	0,276	0,234
	R223	0,414	0,327	0,277	0,235
0,200	R219	0,417	0,330	0,279	0,236
	R220-R222	0,413	0,326	0,275	0,233
	R223	0,414	0,327	0,276	0,233
0,225	R219	0,414	0,327	0,273	0,229
	R220-R222	0,411	0,324	0,271	0,227
	R223	0,412	0,325	0,272	0,228
0,250	R219	0,410	0,321	0,267	0,222
	R220-R221	0,407	0,319	0,265	0,220
	R222-R223	0,408	0,320	0,266	0,221
0,275	R219	0,405	0,315	0,259	0,214
	R220-R223	0,403	0,313	0,258	0,213
0,300	R219	0,398	0,308	0,251	0,206
	R220-R223	0,397	0,307	0,250	0,205

Tabell B1:6c: Korresponderande vattenståndshöjningar (m) i Forsmarkså-systemet enligt värnalternativen D22:39:R219-R223 i samband med vattenföringar vid Pierreslutan ($q_p = q_{d,i}$; $i = 3$ eller 4) av mellan $0,350$ och $1,600 \text{ m}^3/\text{s}$ (jfr s. 14).

$q_p = q_{d,i}$ (m^3/s)	Alter-nativ	Vattenståndshöjningar (m) vid			
		Pierre-slutan	Ensjön	Finnsjön	Vikasjön
0,350	R219	0,385	0,293	0,235	0,190
	R220-R223	0,386	0,294	0,235	0,190
0,400	R219	0,373	0,280	0,221	0,175
	R220-R223	0,374	0,281	0,222	0,176
0,500	R219	0,351	0,255	0,195	0,150
	R220-R223	0,353	0,257	0,197	0,152
0,600	R219	0,331	0,233	0,174	0,130
	R220-R223	0,334	0,236	0,176	0,132
0,700	R219	0,312	0,214	0,156	0,114
	R220-R221	0,317	0,218	0,159	0,116
	R222-R223	0,316	0,217	0,158	0,115
0,800	R219	0,296	0,197	0,141	0,100
	R220-R222	0,300	0,201	0,144	0,102
	R223	0,299	0,200	0,143	0,102
0,900	R219	0,280	0,182	0,128	0,089
	R220-R222	0,285	0,186	0,131	0,091
	R223	0,284	0,185	0,130	0,091
1,000	R219	0,265	0,168	0,116	0,079
	R220-R221	0,268	0,170	0,118	0,080
	R222-R223	0,267	0,169	0,117	0,080
1,200	R219	0,229	0,138	0,093	0,061
	R220-R222	0,231	0,139	0,094	0,061
	R223	0,230	0,138	0,093	0,061
1,400	R219	0,195	0,112	0,074	0,047
	R220-R223	0,196	0,113	0,074	0,047
1,600	R219, R222, R223	0,163	0,089	0,057	0,035
	R220-R221	0,164	0,090	0,058	0,036

Tabell B1:6d: Korresponderande vattenståndshöjningar (m) i Forsmarksåsystemet enligt värnalternativen D22:39:R219-R223 i samband med vattenföringar vid Pierreslutan ($q_p = q_{d,i}$; $i = 4$ eller 5 eller 6) av mellan 1,800 och 7,800 m³/s (jfr s. 14).

$q_p = q_{d,i}$ (m ³ /s)	Vattenståndshöjningar (m) vid			
	Pierreslutan	Ensjön	Finnsjön	Vikasjön
1,800	0,133	0,070	0,045	0,027
2,000	0,104	0,053	0,034	0,020
2,250	0,069	0,034	0,021	0,012
2,500	0,037	0,017	0,011	0,006
2,750	0,006	0,003	0,002	0,001
3,000	-0,017	-0,007	-0,004	-0,002
3,500	-0,048	-0,020	-0,012	-0,006
4,000	-0,060	-0,025	-0,014	-0,008
5,000	-0,060	-0,026	-0,015	-0,010
6,000	-0,060	-0,029	-0,018	-0,012
7,000	-0,060	-0,032	-0,022	-0,014
7,800	-0,060	-0,036	-0,025	-0,016

Anmärkning:

Angivelserna av vattenståndshöjningar i tab. B1:6a-d har för Pierreslutans del en säkerhet som kan skattas till att vara av storleksordningen $\pm 0,001$ m, medan säkerheten i de höjningsvärden som avser sjöarna torde vara av storleksordningen $\pm (0,001+0,001)$ m, d.v.s. $\pm 0,002$ m vid, märk väl, medelförhållanden (jfr s. 10).

9. BILAGA 2; KURVFIGURER

Kurvfigur K1:

sid.

Nuvarande vattenföringskurva vid Pierreslutan och den som skulle komma att gälla efter enbart en upprensning av botten vid slutan. Revision av motsvarande kurvfigur i BJERKETORP (1974b)

30

Kurvfigurerna K2-K4:

Ytterligare tre reviderade versioner av kurvfigurer i BJERKETORP (1974b)

31-33

Kurvfigur K5:

Vattenföringskurvor för Pierreslutan i q_p -intervallet 0,00-0,15 m³/s, gällande efter utförande av något av värnalternativen D22:R216A, D22:R217A eller D22:R218A

34

Kurvfigur K6:

Vattenföringskurva för Pierreslutan i q_p -intervallet 0,33-6,00 m³/s vid tillämpning av regleringsalternativ D22:R217A

35

Kurvfigur K7:

Vattenföringskurvor för Pierreslutan i q_p -intervallet 0,00-0,15 m³/s, gällande efter utförande av något av de fem värnalternativen D22:39:R219-D22:39:R223

36

Kurvfigur K8:

Vattenföringskurva för Pierreslutan i q_p -intervallet 0,33-6,00 m³/s vid tillämpning av regleringsalternativ D22:39:R221

37

Kurvfigur K9:

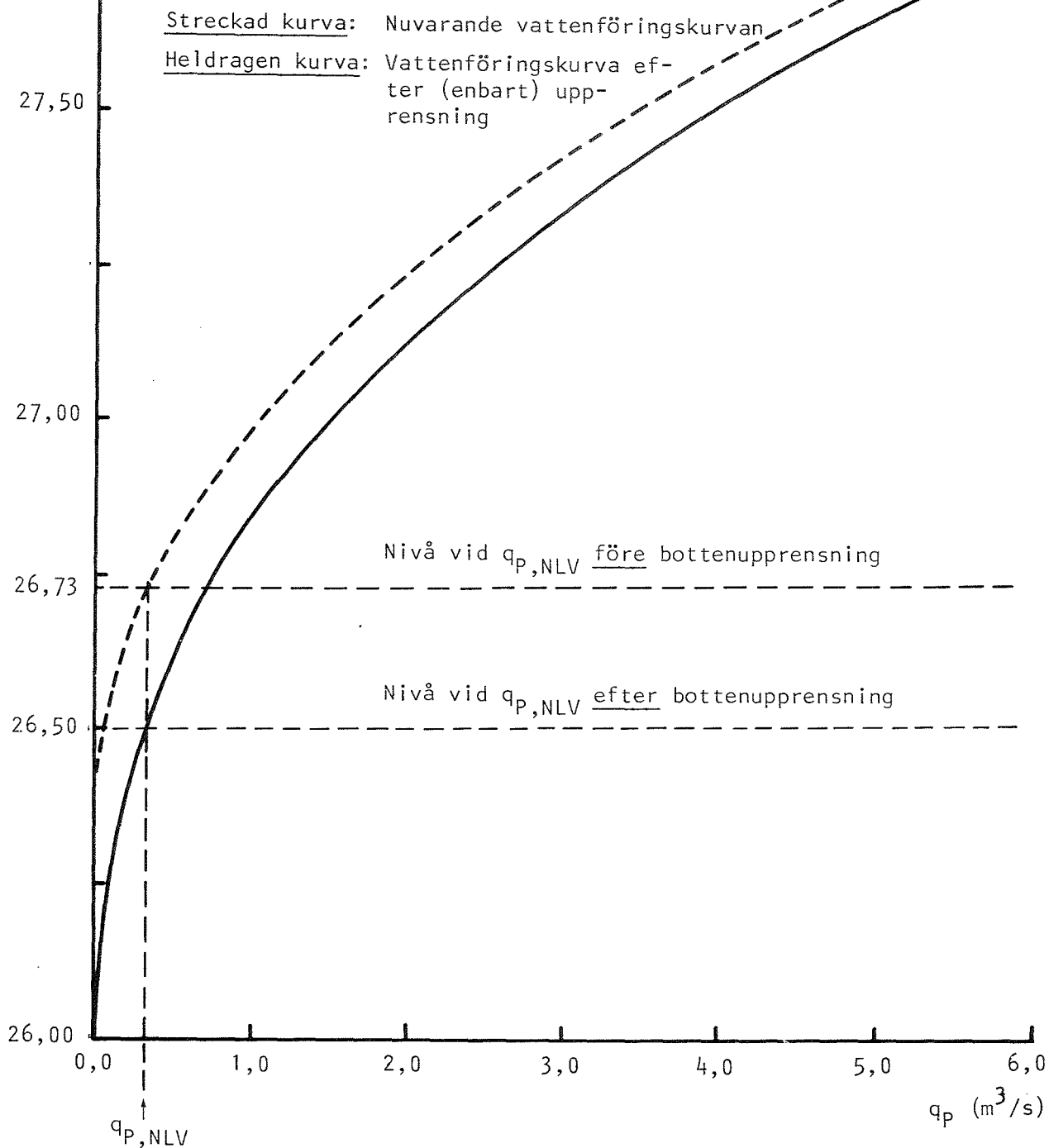
Vattenståndsförhöjningar inom q_p -intervallet 0,050-0,700 m³/s efter anläggning av värn D22:39:R221

38

Kurvfigur K1:

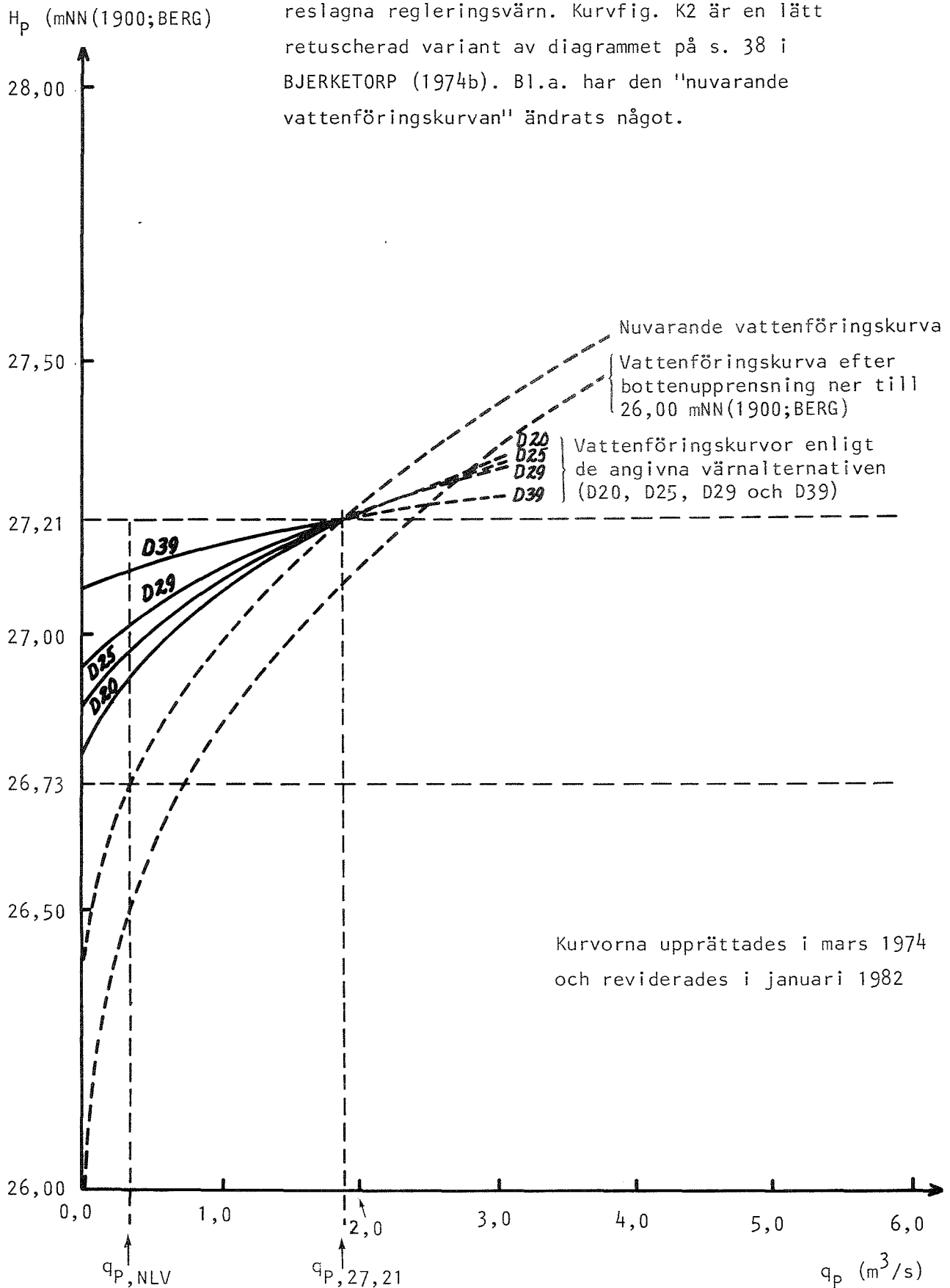
Nuvarande (1965-) vattenföringskurva (avbördningskurva) H_p (mNN(1900;BERG)) för Forsmarksån vid Pierreslutan, jämte den vattenföringskurva som därstädes skulle komma att gälla efter upprensning strax uppströms och strax nedströms Slutan ned till nivån 26,00 mNN(1900;BERG) under förutsättning att inget regleringsvärn insättes (jfr kurvfig. K2-K4).

Kurvfig. K1 är en lätt retuscherad variant av diagrammet på s. 37 i BJERKETORP (1974b). Bl.a. har "nuvarande vattenföringskurvan" ändrats något litet (jfr s. 2 och 4).



Kurvfigur K2:

Införande av vattenföringskurvor i kurvsystemet i kurvfig. K1 för vissa i BJERKETORP (1974b) föreslagna regleringsvärn. Kurvfig. K2 är en lätt retuscherad variant av diagrammet på s. 38 i BJERKETORP (1974b). Bl.a. har den "nuvarande vattenföringskurvan" ändrats något.

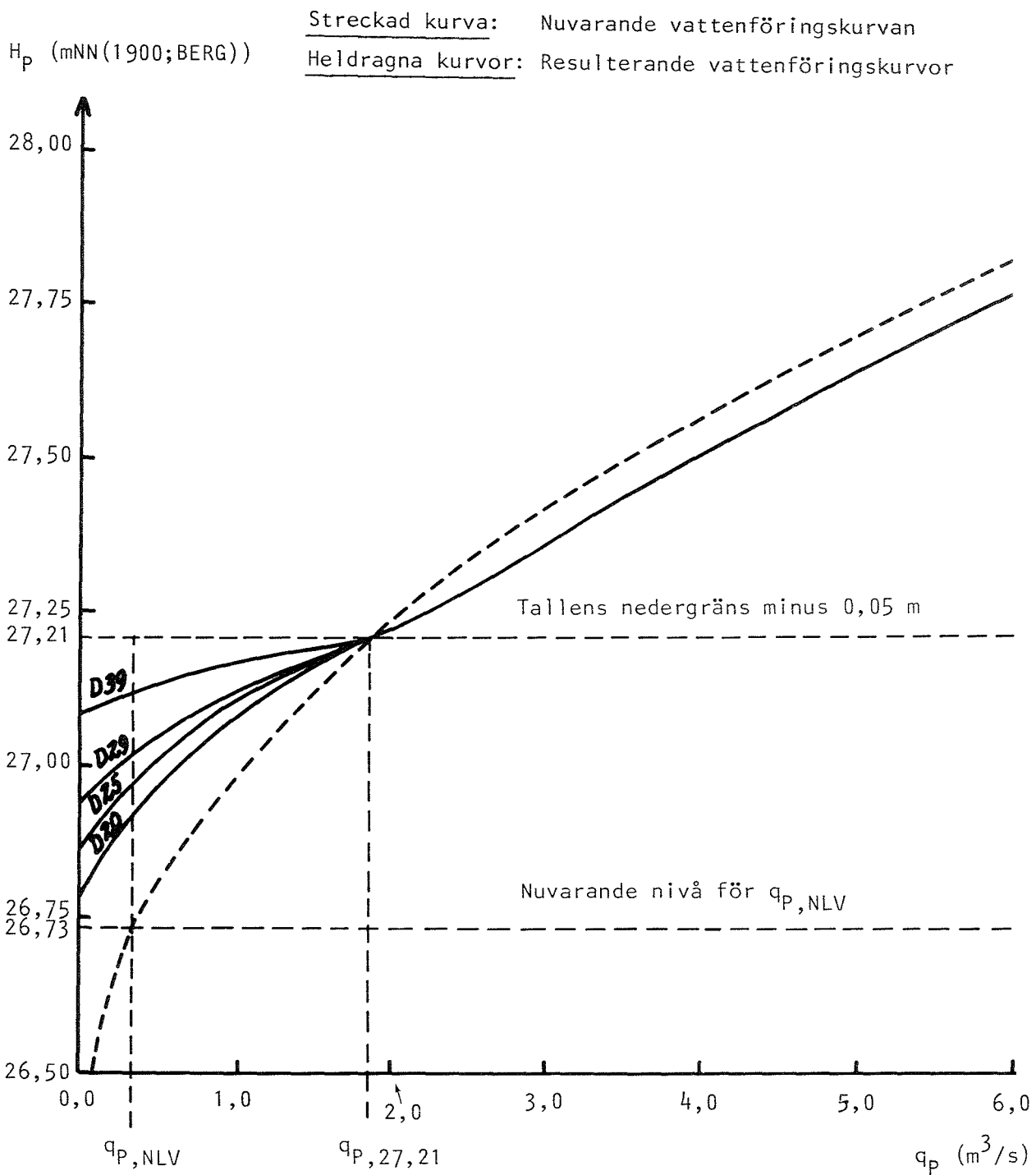


Kurvfigur K3:

Resultande vattenföringskurvor för vissa av de i BJERKETORP (1974b) föreslagna regleringsalternativen (jfr kurvfig. K1 och K2).

Kurvfig. K3 är en lätt retuscherad variant av diagrammet på s. 39 i BJERKETORP (1974b).

Viktigaste ändring: Vattenföringskurvorna ovanför cirka $3,0 \text{ m}^3/\text{s}$ har reviderats.



Kurvfigur K4:

Resultande vattenföringskurvor för ytterligare tre i BJERKETORP (1974b) föreslagna alternativ till reglering vid Pierreslutan (jfr kurvfig. K1-K3).

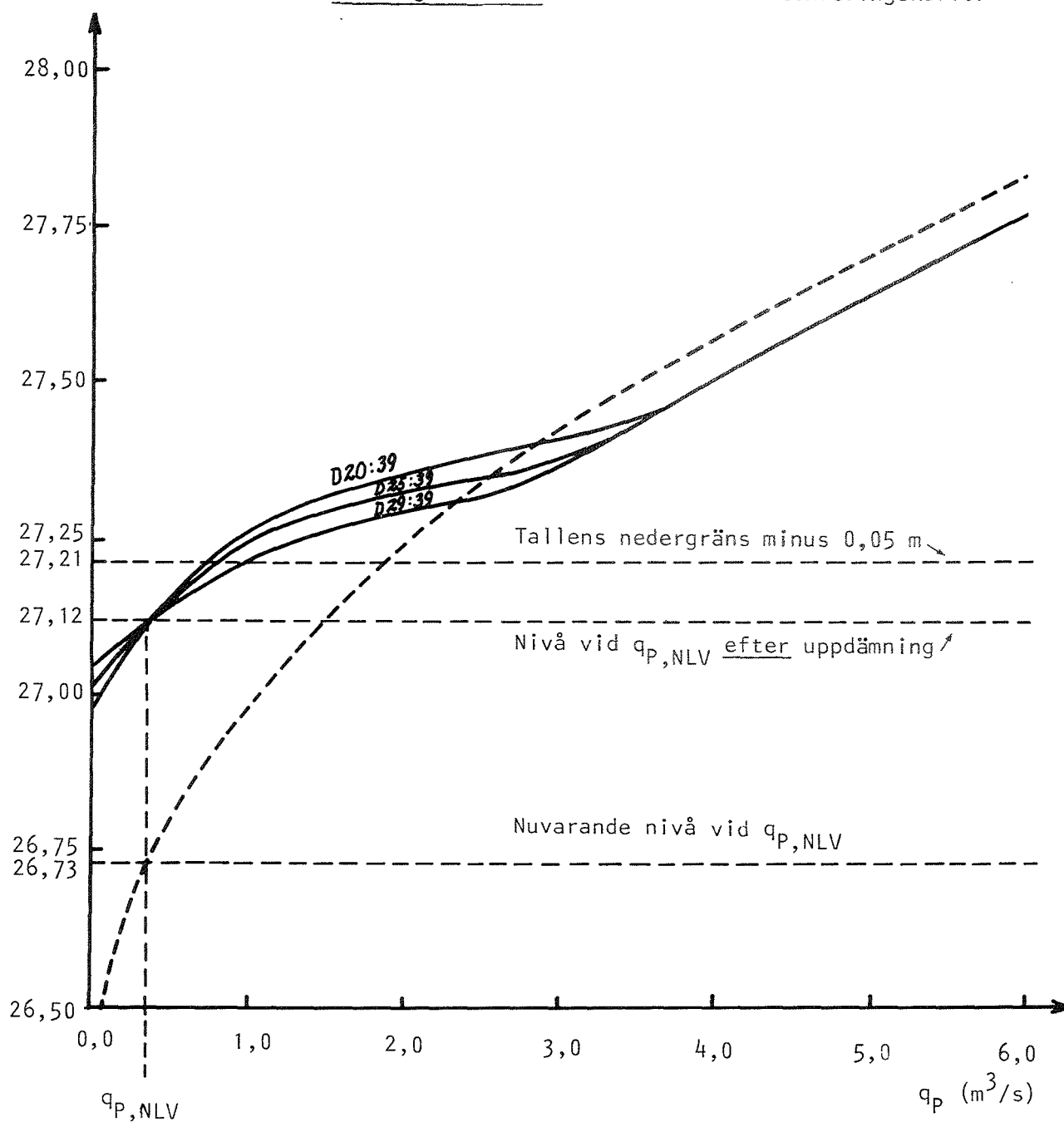
Kurvfig. K4 är en lätt retuscherad variant av diagrammet på s. 40 i BJERKETORP (1974b).

Viktigaste ändring: Vattenföringskurvorna ovanför cirka $2,0 \text{ m}^3/\text{s}$ har reviderats.

H_p (mNN(1900;BERG))

Streckad kurva: Nuvarande vattenföringskurvan

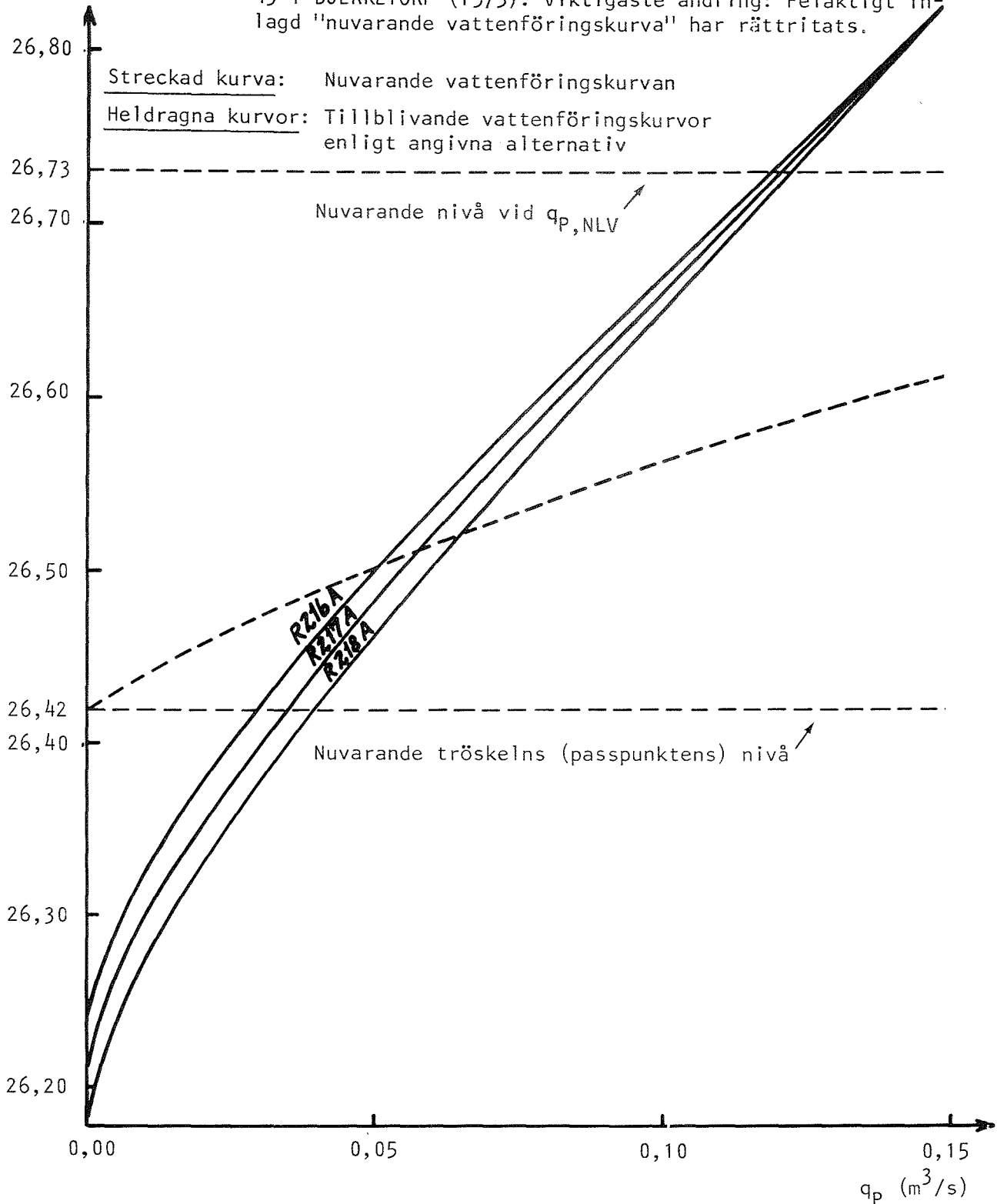
Heldragna kurvor: Resultande vattenföringskurvor



Kurvfigur K5:

Vattenföringskurvor för Pierreslutan i q_p -intervallet $0,00-0,15 \text{ m}^3/\text{s}$ vid tillämpning av de i BJERKETORP (1975) föreslagna värnalternativen D22:R216A, D22:R217A och D22:R218A (jfr kurvfig. K6 på nästa sida).

H_p (mNN(1900;BERG)) Kurvfig. K5 utgör en reviderad variant av diagrammet på s. 43 i BJERKETORP (1975). Viktigaste ändring: Felaktigt inlagd "nuvarande vattenföringskurva" har rätttritsats.



Kurvfigur K6:

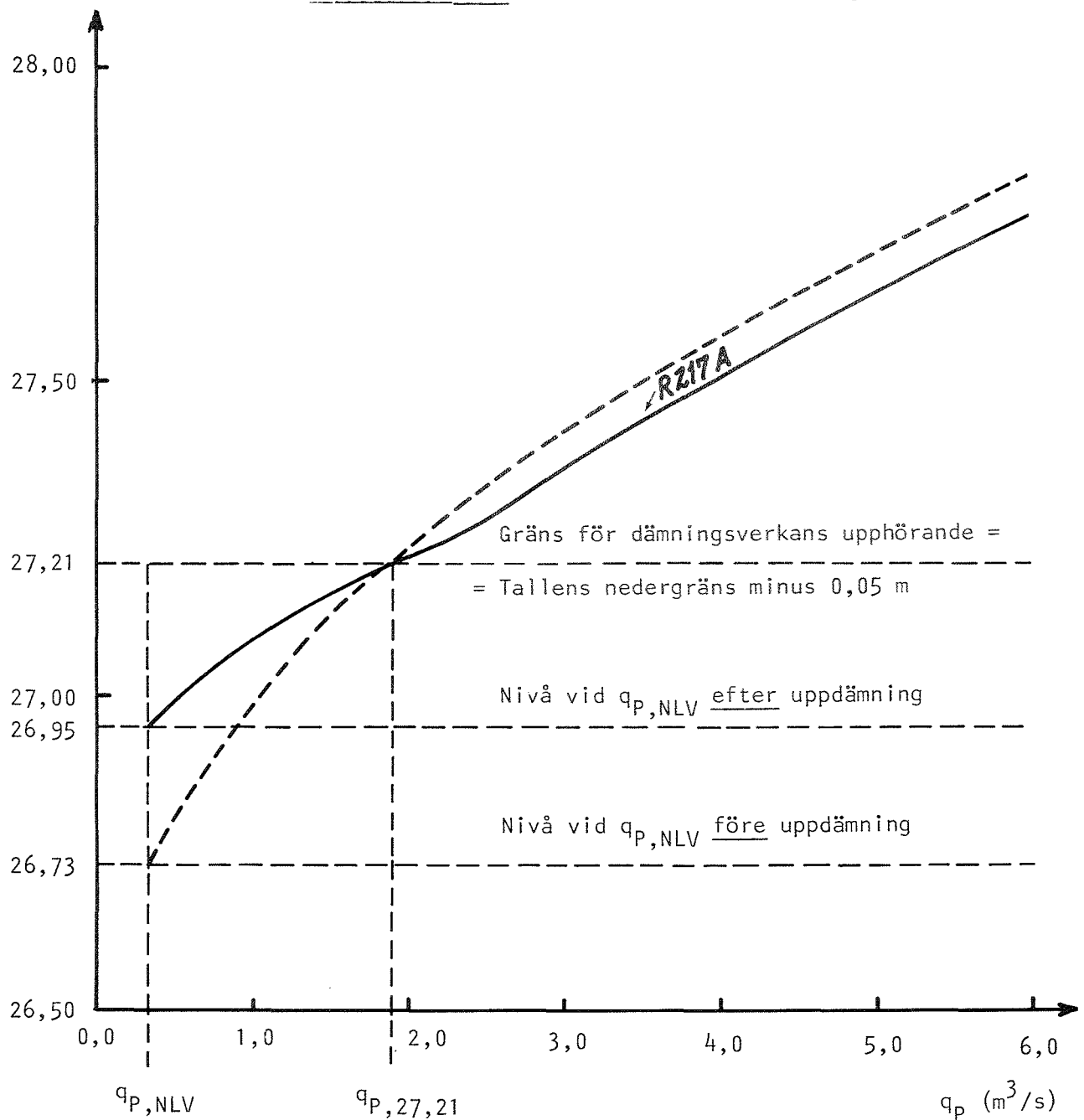
Vattenföringskurva för Pierreslutan i q_p -intervallet $0,33-6,0 \text{ m}^3/\text{s}$ vid tillämpning av det i BJERKETORP (1975) föreslagna regleringsalternativet D22:R217A (jfr med kurvfig. K5 på föregående sida).

Kurvfig. K6 är en lätt retuscherad variant av diagrammet på s. 45 i BJERKETORP (1975). Bl.a. har den "nuvarande vattenföringskurvan" ändrats något.

H_p (mNN(1900;BERG))

Streckad kurva: Nuvarande vattenföringskurva

Heldragen kurva: Tillblivande vattenföringskurva

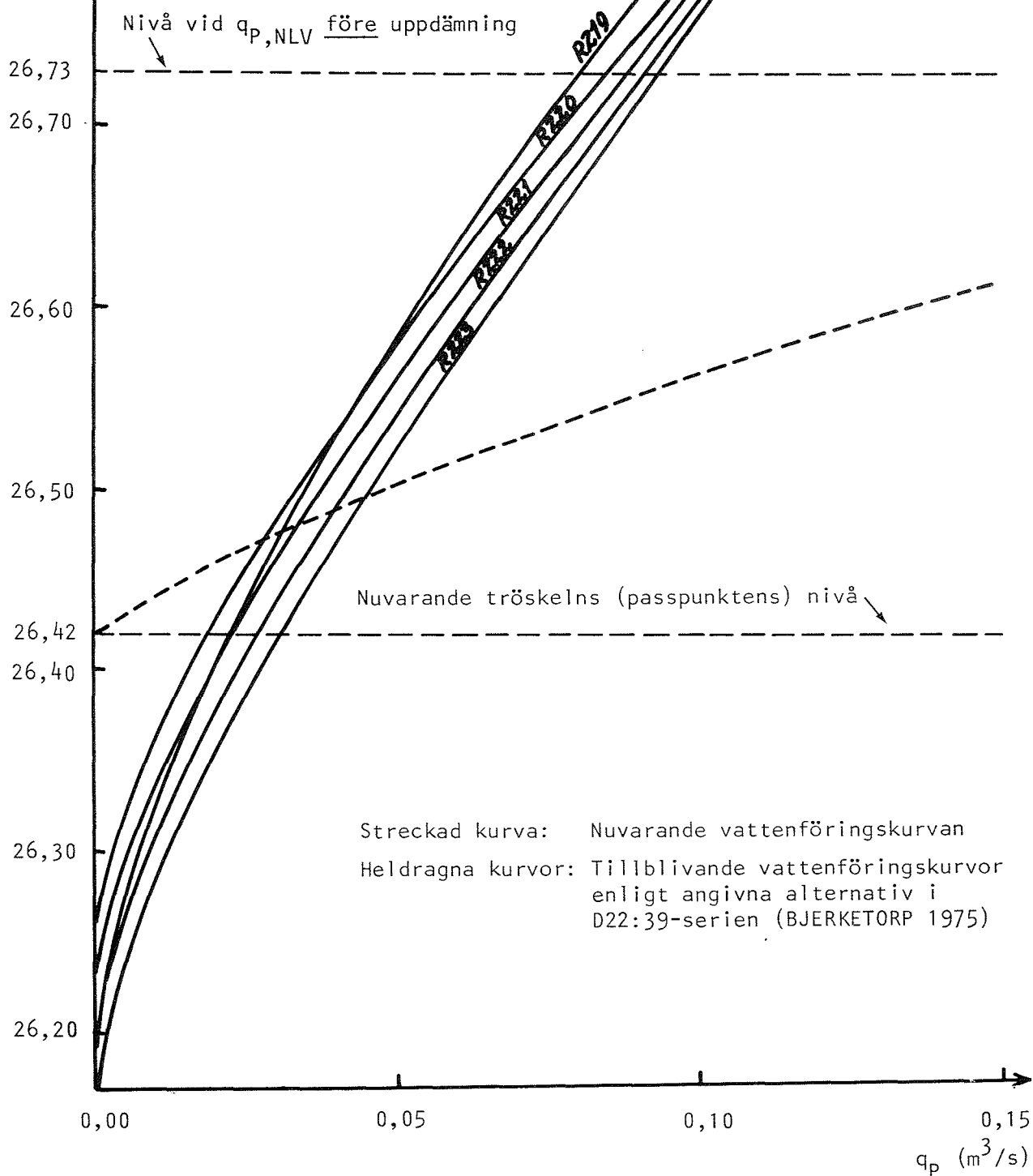


H_p (mNN(1900; BERG))

Kurvfigur K7:

Vattenföringskurvor för Pierreslutan i q_p -intervallet 0,00-0,15 m^3/s vid tillämpning av de i BJERKETORP (1975) föreslagna regleringsvärnen D22:39:R219-D22:39:R223 (jfr tab. B1:6a-b på s. 25-26).

Kurvfig, K7 utgör en reviderad variant av diagrammet på s. 46 i BJERKETORP (1975).
Viktigaste ändring: Felaktig "nuvarande vattenföringskurva" rättad.

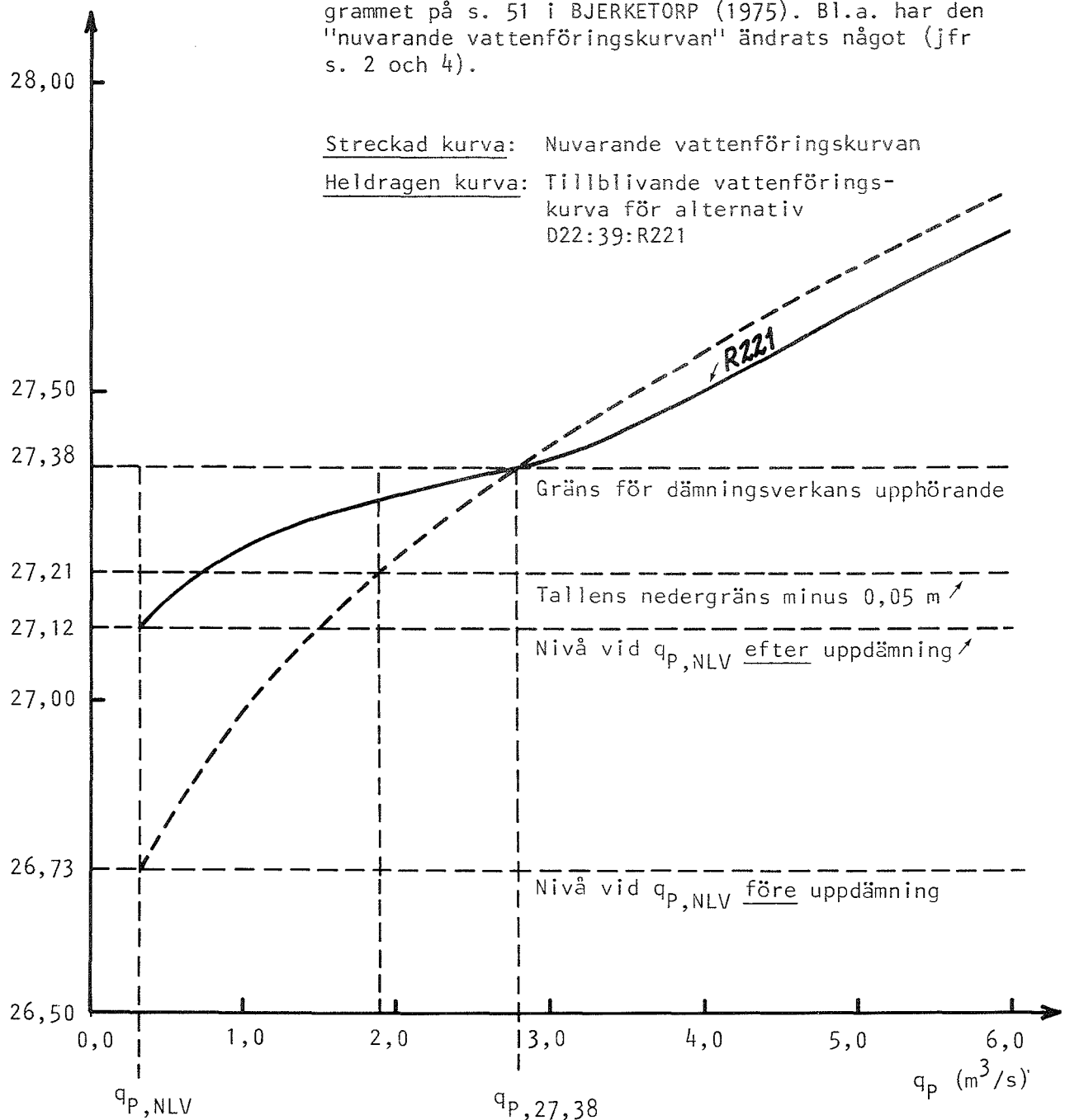


Kurvfigur K8:

Vattenföringskurva för Pierreslutan i q_p -intervallet $0,33-6,0 \text{ m}^3/\text{s}$ vid tillämpning av det i BJERKETORP (1975) föreslagna regleringsalternativet D22:39:R221.

Jfr med kurvfig. K7 på föregående sida och med tab. B1:6c-d på s. 27-28 i föreliggande rapport samt med s. 49-50 i BJERKETORP (1975). Observera att konstanten 35,41 i ekvationen på s. 50 i BJERKETORP (1975) skall ändras till 35,403. Jfr tab. B1:3 på s. 22 i föreliggande rapport.

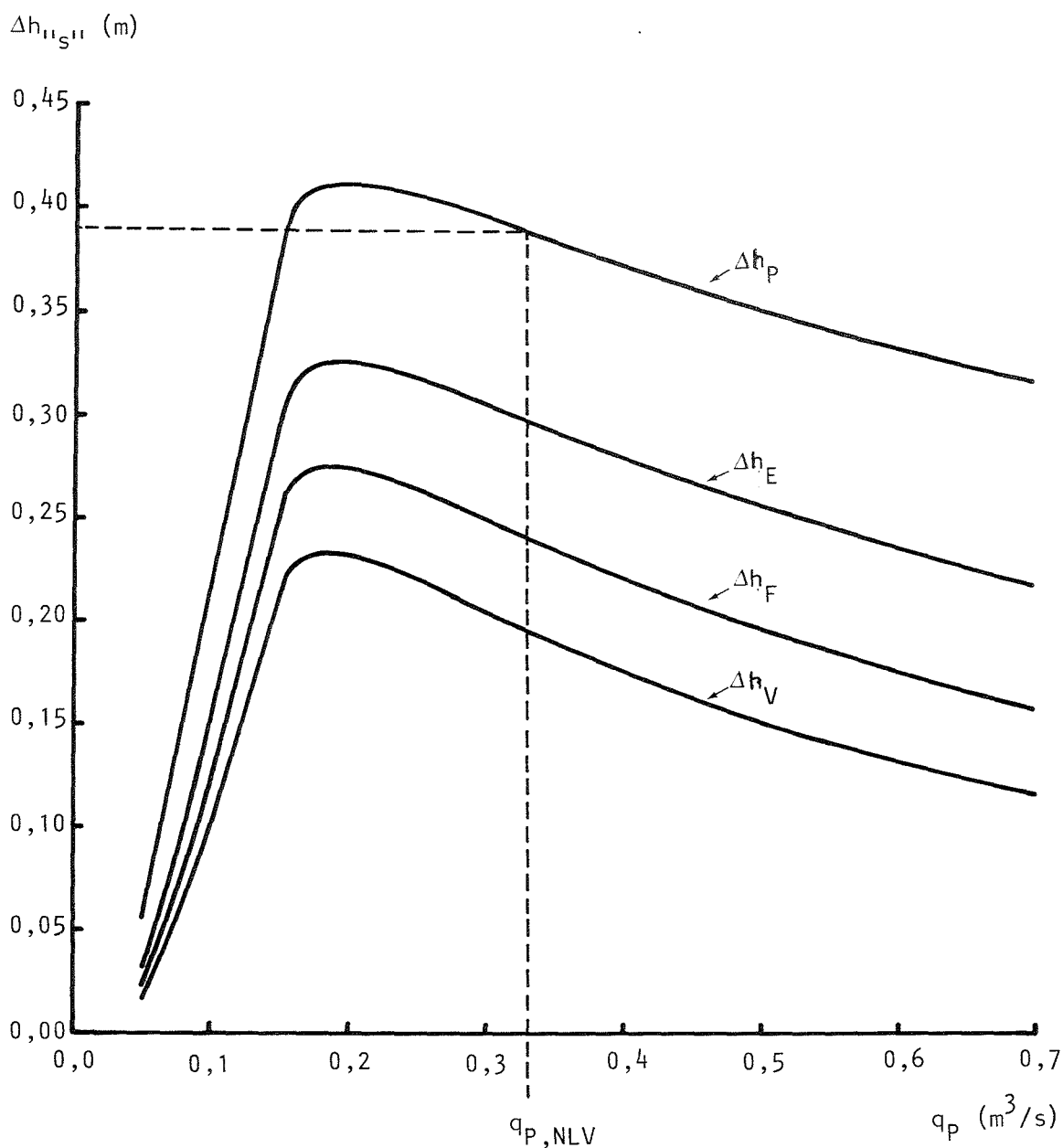
H_p (mNN(1900;BERG))



Kurvfigur K9:

Grafisk framställning av de vattenståndshöjningar ($\Delta h_{II,III}$) vid en vattenförling, q_p (eller $q_{p,d}$), vid Pierreslutan av mellan 0,050 och 0,700 m³/s, vilka efter utförande av värnalternativet D22:39:R221 skulle uppträda vid Pierreslutan, Δh_p , i Ensjön, Δh_E , i Finnsjön, Δh_F , och i Vikasjön, Δh_V .

Jfr med tab. B1:6a-c på s. 25-27. Observera att D22:39:R221-alternativet i fråga om resulterande uppdämning i allmänhet intager en mellanställning bland de fem värnalternativen D22:39:R219-D22:39:R223.



10. SAMMANFATTNING

Rapporten behandlar vattenståndsförändringar i en serie sjöar inom Forsmarksåns vattenområde i norra Uppland till följd av s.k. svagt föränderlig, olikformig och stationär strömning efter etablering av en vattenföringsreglerande struktur (kontrollsektion, överfallsvärn) ett stycke nedströms den lägst belägna sjön i serien. Sjökedjan består av följande fem sjöar, ordnade från lägst till högst liggande (karta i INGMAR, 1973): Ensjön, Åkerbysjön, Lissvass, Finnsjön och Vikasjön (med Skälsjön). Föreliggande skrift behandlar dock endast vattenståndsförhållandena i Ensjön, Finnsjön och Vikasjön.

Sjöarna är förbundna av ganska korta åsträckor med svagt fall. Den tilltänkta regleringsstrukturen förutsättes bli anlagd vid Pierreslutan, en regleringspunkt med historisk hävd, belägen c:a 1,9 km nedströms Ensjöns utlopp. Avrinningsområdet uppströms Pierreslutan omfattar en yta av omkring 135 km^2 . Det är genomgående mycket flackt. Av totalarealen täckes i runt tal 8 % av sjöar. Sjökedjan svarar för c:a 4/5 av sjöandelen.

I tre tidigare arbeten (BJERKETORP, 1974b; 1974c; 1975) har olika versioner till utformning av regleringsstrukturen framlagts. Av dessa skilda varianter torde några av förslagen till permanenta (d.v.s. icke rörliga) kontrollsektioner enligt D22:39:R2-serien i BJERKETORP (1975) äga störst aktualitet. De närmast ifrågakommande värntyperna är D22:39:R219-R223.

Hela avståndet utefter vattendraget från Pierreslutan till Vikasjön är ungefär 17 km, varav drygt 6 km utgöres av åsträckor. Vattenståndsskillnaden mellan Pierreslutan och Vikasjön är vid nu rådande ("naturliga") förhållanden liten, särskilt i samband med mycket små vattenföringar. Längs hela sträckan saknas hydrauliskt bestämmande sektioner. Differensen mellan vattenstånden vid Pierreslutan och Vikasjön är $<0,2 \text{ m}$ vid extremt små vattenföringar ($<0,12 \text{ m}^3/\text{s}$). Vattenståndsskillnaden växer sedan med ökande vattenföring till c:a $0,5 \text{ m}$ (gällande för "medelförhållanden") vid en vattenföring mellan $2,5$ och $4,0 \text{ m}^3/\text{s}$, varefter differensen åter avtar, så att den t.ex. vid $q_p = 8,4 \text{ m}^3/\text{s}$ vid "medelförhållanden" är nere i $0,3 \text{ m}$. Närmare detaljer om de "naturliga" vattenståndsförhållandena ges i tabell B1:5 i Bilaga 1, medan faktaunderlaget redovisas i avd. 2.1. på s. 2-3. Alla vattenståndsdata är medeltal (jfr avd. 4.5).

Vattenföringen vid Pierreslutan under nu rådande förhållanden framgår av de tre vattenföringsekvationerna i avd. 2.3. på s. 4. Bakgrunden till dessa ekvationer diskuteras på s. 2, andra stycket. Ekvationerna defini-

erar, för nu rådande förhållanden, en vattenföringskurva som något litet avviker från den provisoriska kurva som kom till användning i BJERKETORP (1974b; 1974c; 1975). Det är bl.a. till följd av detta som fyra av kurvfigurerna i BJERKETORP (1974b) och fyra av kurvfigurerna i BJERKETORP (1975) har nyritats och medtagits såsom kurvfigurerna K1-K4 resp. K5-K8 i Bilaga 2. Särskilt ifråga om kurvfigurerna K7-K8 (se nedan) finns dock även andra starka skäl till att kurvorna tagits med i reviderad form.

Vattenföringen vid Pierreslutan efter insättning av regleringsanordningar beröres för ganska många alternativ. Mera ingående behandlas dock endast förhållandena efter etablering av värnen D22:39:R219-D22:39:R223 (BJERKETORP, 1975). För de vattenföringsdefinierande ekvationer som hör till dessa fem värn, redogöres i avd. 5 på s. 11-14, med kompletterande uppgifter givna i tabellerna B1:3-4 i Bilaga 1. Ifrågavarande vattenföringssamband belyses grafiskt i kurvfigurerna K7 och K8 i Bilaga 2.

Jämförelser mellan å ena sidan de vattenföringssamband (q - H -relationer) som är giltiga vid nu rådande förhållanden, och å andra sidan de samband som gäller för de olika tilltänkta kontrollsektionerna, visar den givna förändring, höjning eller sänkning (Δh_p), av vattenståndet vid Pierreslutan som insättning av ett visst värn leder till, för varje bestämt vattenföringsvärde (q_p). Sambanden mellan Δh_p och q_p för värnalternativen D22:39:R219-D22:39:R223 kan studeras i första kolumnen för vattenståndshöjningar i de fyra tabellerna B1:6a-d i Bilaga 1. För värnalternativet D22:39:R221 ges dessutom i den översta kurvan i kurvfigur K9 i Bilaga 2 en grafisk framställning av Δh_p som funktion av q_p inom ett visserligen ganska snävt men mycket viktigt definitionsområde för q_p .

Den centrala problemställningen för de beräkningar föreliggande rapport avhandlar, var att för (inom vissa definitionsintervall) godtyckliga värden på q_p och Δh_p kunna ange vattenstånden i några viktiga sjöar i sjökedjan uppströms Pierreslutan. Första steget mot problemets lösande blev att med utgångspunkt från empiriskt material (s. 2-3) konstruera ett betydande antal profiler med korresponderande vattenstånd från Pierreslutan till Vikasjön, profiler gällande för olika värden på q_p . Andra steget blev att för varje vattenståndsprofil teoretiskt beräkna dämnings- och sänkningskurvor för de värden på Δh_p vilka för varje givet värde på q_p kunde bedömas kunna bli aktualiserade. Tredje steget, slutligen, blev att med de framtagna dämnings- och sänkningskurvorna som underlag söka finna användbara matematiska uttryck för de olika sjöarnas vattenstånd som funktioner av de båda "förklarande" parametrarna q_p och Δh_p .

Den teoretiska beräkningen av dämningskurvorna har utförts enligt en metod som anvisats av ROTHMUND (1949) och FELKEL (1958) på basis av BAKHEMETEFF (1932). Egna mycket utförliga tabeller (BJERKETORP, 1974a) över för beräkningarnas genomförande nödvändiga integralvärden har utnyttjats. Tabellernas utförlighet har haft väsentlig betydelse för beräkningarnas formella noggrannhet. Sänkningskurvorna har kalkylerats enligt BAKHEMETEFF (1932) och KLAMETH (1958). Grafiska metoder har använts för att öka noggrannheten vid bestämningen av erforderliga integralvärden.

Vattenstånden i Ensjön, Finnsjön och Vikasjön för medelförhållanden har beräknats som funktioner av vattenföring, q_p , och vattenståndsförändring, Δh_p , vid Pierreslutan. Beräkningarna har utförts genom minstakvadratanpassning av ett utjämningspolynom av sjätte graden till q_p , efter en transformering, och Δh_p . Vattenståndsekvationernas principiella byggnad framgår av formlerna (IVa) och (IVb) i avd. 4.1. Från de principiella formlerna erhålles bruksekvationer för vattenstånden i resp. sjöar genom insättning av siffervärden på konstant, koefficienter och transformerings-exponent, förtecknade i tab. B1:1 i Bilaga 1. Bruksekvationernas giltighetsområde definieras i avd. 4.3. (jfr avd. 4.4). Exempel på resultat av beräkningar utförda med dessa ekvationer ges i tab. B1:2a-c i Bilaga 1.

De skattningsvärden som erhålles med hjälp av de tre bruksekvationerna har en mycket stor formell noggrannhet. Inom definitionsområdet har avvikelserna från underlagsvärdena ytterst sällan större absolutvärde än 0,001 m. Den stora noggrannheten motiveras av egenskaper hos den valda matematiska utjämningsmodellen och inte av något önskemål om att vattenståndsvärdena i sig själva skulle behöva anges med så stor precision. Den verkliga avvikelsen från de givna medelvärdena för vattenstånden är nämligen ofta betydligt större än 0,001 m.

Slutligen har vattenståndsförändringar vid Pierreslutan och i Ensjön, Finnsjön och Vikasjön beräknats för olika vattenföringar (mellan 0,060 och 7,8 m³/s) genom de fem presumtiva kontrollsektionsalternativen D22:39:R219-R223 med hjälp av (a) vattenföringsekvationerna för dessa värn (avd. 5), (b) inverserna (OBS!) till de vattenföringsformler som gäller vid nuvarande förhållanden (avd. 2.3) och (c) bruksekvationerna för beräkning av vattenstånden i sjöarna (avd. 4). Ett fylligt urval av de sålunda framräknade vattenståndsförändringarna är förtecknade i tabellerna B1:6a-d i Bilaga 1. Kurvfigur K9 i Bilaga 2 visar grafiskt (såsom exempel) de vattenståndshöjningar som regleringsalternativet D22:39:R221 medför vid vattenföringar mellan 0,050 och 0,70 m³/s.

Förteckning över utgivna häften i publikationsserien

SVERIGES LANTBRUKSUNIVERSITET, UPPSALA. INSTITUTIONEN FÖR MARKVETENSKAP.
AVDELNINGEN FÖR LANTBRUKETS HYDROTEKNIK. AVDELNINGSMEDDELANDE.

- 81:1 Berglund, G., Eriksson, J., Berglund, K., Ingvarsson, A., Karlsson, I., Karlsson, S.-E.: Resultat av 1980 års fältförsök avseende täckdikning, övrig grundförbättring och bevattning. 13 + 47 + 38 s.
- 82:1 Berglund, G., Eriksson, J., Berglund, K. & Karlsson, S.-E.: Resultat av 1981 års fältförsök avseende täckdikning, övrig grundförbättring och bevattning. 80 s.
- 83:1 Berglund, G., Eriksson, J. & Karlsson, S.-E.: Resultat av 1982 års fältförsök avseende täckdikning, övrig grundförbättring och bevattning. 82 s.
- 83:2 Bjerketorp, A.: Höjning av nivåerna vid lågvattenföringar i Forsmarksåns vattensystem uppströms Lövestabruk. 4: Vattenståndet i den centrala sjökedjan. 41 s.

Denna serie meddelanden utges av Avdelningen för lantbrukets hydroteknik, Sveriges Lantbruksuniversitet, Uppsala. Serien innehåller sådana forsknings- och försöksredogörelser samt andra uppsatser som bedöms vara av i första hand internt intresse. Uppsatser lämpade för en mer allmän spridning publiceras bl a i avdelningens rapportserie. Tidigare nummer i meddelandeserien kan i mån av tillgång levereras från avdelningen.

This series of Communications is produced by the Division of Agricultural Hydraulics, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala. The series consists of reports on research and field trials and of other articles considered to be of interest mainly within the department. Articles of more general interest are published in, for example, the department's Report series. Earlier issues in the Communications series can be obtained from the Division of Agricultural Hydraulics (subject to availability).

SVERIGES LANTBRUKSUNIVERSITET
Institutionen för markvetenskap
Avd för hydroteknik
750 07 UPPSALA 7

BIBLIOTEKET

DISTRIBUTION:

ISSN 0282-6569

Sveriges Lantbruksuniversitet

Avdelningen för lantbrukets hydroteknik

S-750 07 UPPSALA, Sverige

Tfn 018/67 11 65, 018/67 11 81
